



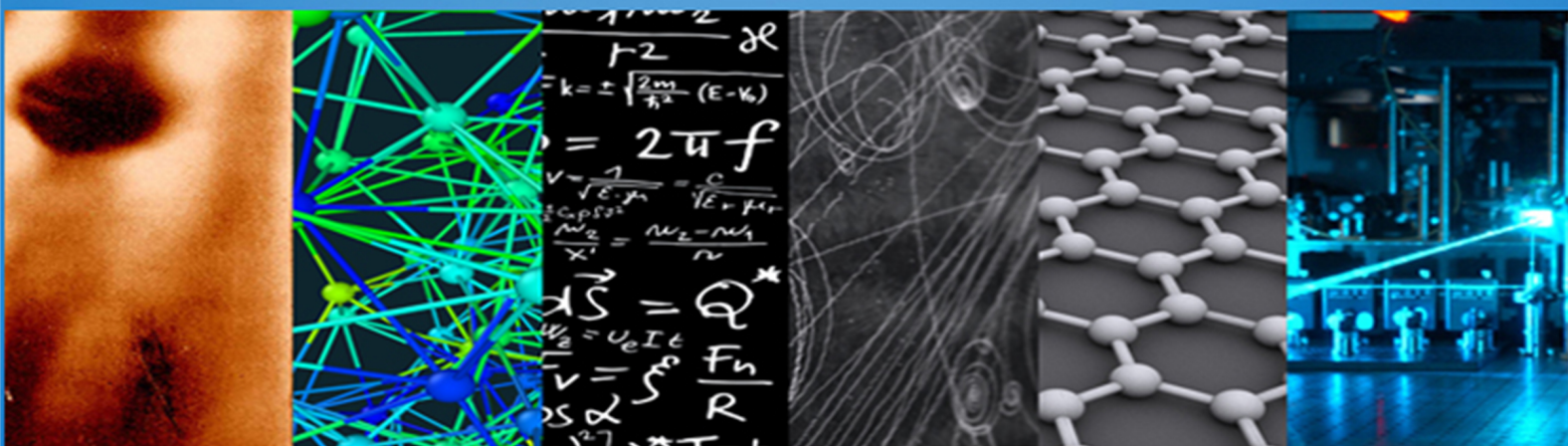
UNIVERSITAS AIRLANGGA

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN TERAPANNYA IV

15 November 2014

"Peran Fisika dan Terapannya Sebagai Modal Pengembangan
Kemandirian Bangsa di Bidang Pendidikan, Medis, dan Industri"



Departemen Fisika,
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

ISSN: 2407-2281

**SAMBUTAN KETUA DEPARTEMEN/PRODI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI, UNIVERSITAS AIRLANGGA**

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga pada hari ini “ Seminar Nasional Fisika Terapan IV “ dapat terlaksana dengan baik dan lancar.

Seminar Nasional Fisika ini merupakan salah satu kegiatan rutin dua tahunan yang dilaksanakan oleh prodi S1 Fisika Unair. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan ilmu fisika dan terapannya di berbagai universitas dan instansi di Indonesia melalui publikasi yang dipresentasikan oleh peserta seminar. Selain itu diharapkan dapat melakukan sinergi antar instansi untuk proses pembelajaran, penelitian dan penerapan fisika, sehingga fisika dapat memberikan sumbangan bagi perkembangan teknologi di Indonesia. Oleh sebab itu Prodi S1 Fisika Unair berkomitmen untuk dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan fisika tersebut melalui penyelenggaraan seminar yang sumber pendanaannya diperoleh dari RKAT pengembangan prodi fisika tahun 2014.

Ilmu Fisika yang merupakan salah satu pilar dasar bagi perkembangan teknologi di Indonesia masih dianggap belum memiliki banyak sumbangan bagi pembangunan nasional. Oleh sebab itu kegiatan seminar dengan tema “**Peran Fisika dan Terapannya sebagai Modal Pengembangan Kemandirian Bangsa di Bidang Pendidikan, Medis dan Industri** “ ini diharapkan dapat membuka pengetahuan berbagai kalangan atas peran besar fisika dalam peningkatan teknologi masa kini dan kesejahteraan serta kualitas hidup manusia. Hal ini selaras dengan sejarah perkembangan teknologi di dunia, dimana kebergantungan yang sangat kuat terhadap perkembangan ilmu dasar , salah satunya adalah fisika.

Saya ucapkan terima kasih kepada bapak Rektor Unair dan Dekan Fakultas Sains dan Teknologi atas disetujuinya RKAT Pengembangan Prodi Fisika ini. Terima kasih juga saya sampaikan kepada ketua panitia seminar Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si dan anggotanya atas kerja kerasnya, sehingga kegiatan ini bisa terlaksana. Semoga kegiatan ini dapat memberi kontribusi bagi perkembangan fisika di Indonesia. Selamat melaksanakan seminar ini.

Wassalam,

Surabaya, 15 November 2014
Ketua Departemen/ Prodi Fisika,



Drs. Siswanto, M.Si
NIP. 196403051989031003

KATA PENGANTAR
(KETUA PANITIA SEMINAR NASIONAL FISIKA TERAPAN IV-2014)

Assalaamu'alaikum wr. wb.,

Peserta seminar yang saya hormati,

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah S.W.T akhirnya kami dapat menyelesaikan seluruh kegiatan Seminar Nasional Fisika IV dengan tema **“Peran Fisika dan Terapannya sebagai Modal Pengembangan Kemandirian Bangsa di Bidang Pendidikan, Medis dan Industri”** yang telah diselenggarakan pada Tanggal 15 November 2014 di Ruang Kahuripan Lantai 3 Gedung Perpustakaan, Kampus C Universitas Airlangga Surabaya, termasuk penerbitan Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Terapannya IV ini. Kegiatan seminar ini dilaksanakan oleh Program Studi S1 Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga bertujuan untuk membuka wawasan akan peranan ilmu fisika bagi pengembangan kemandirian bangsa di bidang pendidikan, industri, dan kedokteran. Kegiatan seminar ini telah mengkaji beberapa topik dasar dan kontemporer yang terkait dengan bidang Pendidikan Fisika, Biofisika dan Medis, Fisika Material, Biomaterial dan Nanoteknologi, Optika dan Laser, Fisika Teori dan Komputasi, serta Fisika Instrumentasi dan Kontrol.

Berdasarkan pengalaman dalam melaksanakan Seminar Nasional Fisika Terapan I pada tahun 2007 dan Seminar Nasional Fisika Terapan II pada tahun 2010, dan seminar Nasional Fisika dan Terapannya III pada tahun 2012, maka melalui kegiatan Seminar Nasional Fisika dan Terapannya IV ini diharapkan terjadi peningkatan jumlah publikasi nasional pada tahun 2014. Melalui kegiatan ini, penelitian-penelitian yang dilakukan oleh staf, dosen maupun mahasiswa Program Studi S1, S2 dan S3 Fisika & Aplikasinya dapat diketahui secara luas oleh berbagai kalangan, mulai dari pendidik, industri dan medis baik dari institusi negeri maupun swasta. Semua makalah yang diterbitkan dalam Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Terapannya IV ini telah melalui proses review yang dilakukan oleh tim Review, dengan Ketua Prof. Dr. Suhariningsih dan anggota tim Drs. Siswanto, M.Si., Dr. Retna Apsari, M.Si, Dr. Mohamad Yasin, M.Si., Drs. R. Arif Wibowo, M.Si. dan Drs. Bambang S., M.Si.

Terima kasih kami ucapkan kepada *keynote speaker* bapak Prof. Dr. Eng. Mitra Djamal, selaku ketua Himpunan Fisikawan Indonesia dan para *invited speaker* antara lain Prof. Dr. Muchlas Samani (Unesa), Prof. Dr. H. Puruhitodir.Sp.B-TKV (Unair) dan Dr. Muhammad Yasin, M.Si (UNAIR) yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan pencerahan dan berbagi pengalaman kepada kami. Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh anggota panitia dan pimpinan Fakultas Sains dan Teknologi Unair, karyawan dan mahasiswa atas kerjasama dan perjuangannya demi kelancaran acara ini. Semoga kerjasama dan kebersamaan ini senantiasa terjaga demi kemajuan Prodi S1 Fisika FST Unair.

Terima kasih juga kami sampaikan kepada para sponsor (Microsoft, PT Telkom, Microsains, PT Bank Mandiri) yang telah berkenan memberikan kontribusi kepada kegiatan seminar ini dan semoga kerjasama ini dapat terus terbina di masa yang akan datang. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para undangan baik sebagai pemakalah maupun sebagai peserta seminar ini, atas partisipasi bapak dan ibu seminar ini dapat berjalan dengan baik. Atas nama panitia, kami mengucapkan permohonan maaf yang sebesar-besarnya atas kesalahan dan kekurangan pelaksanaan seminar ini.

Akhirnya kami berharap, semoga Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Terapannya IV tahun 2014 bermanfaat bagi kita semua dan sampai jumpa pada kegiatan seminar yang akan datang. Semoga Allah S.W.T senantiasa memberikan Rahmat & Hidayah kepada kita untuk membangun bangsa yang mandiri. Sukses selalu.

Wassalam

Surabaya, 15 Desember 2014
Ketua Panitia SNAFT IV



Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si

SUSUNAN PANITIA
SEMINAR NASIONAL FISIKA DAN TERAPANNYA IV 2014

Steering Committee:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi	: Prof. Win Darmanto Ph.D.
Wakil Dekan I Fakultas Sains dan Teknologi	: Dr. Nanik Siti Aminah, M.Si.
Wakil Dekan II Fakultas Sains dan Teknologi	: Drs. Pujiyanto, MS
Wakil Dekan III Fakultas Sains dan Teknologi	: Drs. Hery Purnobasuki, M.Si., Ph.D.
Ketua Departemen Fisika	: Drs. Siswanto, M.Si.

Organizing Committee

Ketua	: Dr. Suryani Dyah Astuti, M.Si
Sekretaris	: Dr. Andi Zaidan, M.Si
Bendahara	: Dyah Hikmawati, S.Si., M.Si

Sie Tim Naskah	: Prof. Dr. Suhariningsih Drs. Siswanto, M.Si. Dr. Retna Apsari, M.Si Dr. Mohamad Yasin, M.Si. Drs. R. Arif Wibowo, M.Si. Drs. Bambang S., M.Si.
----------------	---

Sie Prosiding (ISBN)	: Yhosep Gita Y., S.Si Samian, S.Si., M.Si. Winarno, S.Si., M.Si
----------------------	--

Sie Dana	: Drs. Pujiyanto, MS Dr. Soegianto S, M.Si. Dr.Prihartini Widiyanti.,drg.,M.Kes. Fadli, M.T
----------	--

Sie Acara	: Ir. Aminatun, M.Si Nuril Ukrowiyah, S.Si., M.Si Franky, M.T
-----------	---

Sie Promosi, Akomodasi, dan Gedung

: Drs. Adri Supardi, MS
Herlik Wibowo, S.Si., M.Si.
Drs. Tri Anggono P.
Supadi, M.Si
Imam Sugiarto
Rochim

Sie Website

: Endah, M.T,
Farid Ardiansyah, S.Kom (USI)
M. Farid (Fisika)

Sie Konsumsi

: Lis Wismaningtias, S.Sos.
Endang S, S.Sos.

Sie Kesekretariatan

: Dr. Khusnul Ain
Bayu
May
Mufid K.
Fadjar

Sie Dokumentasi

: Imam Sapuan, S.Si., M.Si
Deni Arifianto, S.Si.

Sie Perlengkapan

: Drs. Djoni Izak R., M.Si.
Jan Ady, S.Si., M.Si.
Agus Supriyadi
Agus Sudaryanto
Halili
Deni Fikazah
Samidi
Jemawan

DAFTAR ISI

	Halaman
Sambutan Ketua Program Studi S1 Fisika.....	i
Kata Pengantar Ketua Panitia	ii
Susunan Panitia	iii
Daftar Isi	v
A. BIDANG KAJIAN BIOFISIKA,	
Regenerasi Tulang Femur Pada Tikus Putih (<i>Rattus Norvegicus</i>) Melalui Penggunaan Hidroksiapatit Dari Tulang Sotong (<i>Sepia Sp.</i>) Sebagai <i>Bone Filler</i> Fadhilah Dwi Estri Handayani, Aminatun, Dwi Winarni	A1
Penggunaan Ekstrak Daun Binahong (<i>Bassela Rubra Linn</i>) Sebagai Zat Peka Cahaya Tio2-Nano Partikel Dalam <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) Hardani, Hendra, Muh. Iman Darmawan, Cari, Agus Supriyanto	A4
Identifikasi Sifat Kelistrikan Titik Akupunktur Untuk Diagnosis Penyakit Asma. Norienna V.R, Welina R.K, Tri A.P	A9
B. BIDANG KAJIAN FISIKA INSTRUMENTASI	
Pantauan Terhadap Pergerakan Fluida Bawah Permukaan Dengan Metode Geolistrik Antar Waktu Teguh Ardianto, Suhayat Minardi, Alfina Taurida Alaydrus	B1
Uji Konsistensi Kualitas Lampu Tabung Dengan Piranti LDR Fiqhri H M, Agus B P, Jaler S M, Bambang M.E.J.	B6
Pembuatan Piranti Pendingin Termoakustik Gelombang Berjalan Ikhsan Setiawan	B10
<i>Catching Window Time</i> Frekuensi Limit Berbasis Mcs51 Pada Pengembangan Alat Penyelaras Gamelan Pelog Jawa Timuran Joko Catur Condro Cahyono	B15
Pengukuran Perubahan Suhu Dan Kelembaban Udara Menggunakan Datalogger Berbasis Atmega 8535 Di Kota Mataram NTB Laili Mardiana, Kasnawi Alhadi, Lily Maysari Angraini, Dian Wijaya Kurniawidi	B18
Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Pada Mikrokontroller AVR ATmega1284P Untuk Klasifikasi Sinyal Electromyography Normal, Myopathy, Dan Neuropathy Triwiyanto	B21
Analisis Electro Convulsive Therapy (Ect) Pada Penderita Schizopherenia Jenis Katatonik Di RSJ Dr. Radjiman Wediodiningrat Lawang Fadli Ama, Suyanto, Fuad Ama	B26
Pengendalian Dan Monitoring Lampu Lalu Lintas Berbasis Plc Siemens S7-200 Franky Chandra Satria Arisgraha	B32
Rancang Bangun Sistem Pengendali Daya Dan Waktu Laser Dioda Sebagai Aplikasi Laserpunktur Secara Otomatis Dyah Wulan Putri Pradani, Welina Ratnayanti K, Tri Anggono Prijo	B34
Sistem Pesawat Trikopter Berbasis Ardupilot Menggunakan Kamera Gopro Sebagai Pemantau Keamanan Lokasi Sigit Wasista, Setiawardhana	B40
Biofourtak : Inovasi Motor 4-Tak Berbahan Bakar Biogas Dan Bensin Dengan Penerapan <i>Flasback Arestore Savety Device</i> Pada Karburator Yousida Hariani	B45

C. BIDANG KAJIAN FISIKA MATERIAL

Komposit Hidroksiapatit-Gelatin-Alendronate Sebagai <i>Injectable Bone Substitute</i> Dalam Mengatasi Defek Tulang Akibat Osteoporosis Alfian Pramudita Putra, Agresta Afianti Ifada, Annisa Aulia Rahmah, Fatkhunisa Rahmawati, Fitriyatul Qulub, Dyah Hikmawati	C1
Potensi Ekstrak Daun Teh (<i>Cammellia Sinensis</i> L. Kuntze) Untuk Inhibitor Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon Sebagai Penyalur Gas Dalam Media Korosif Tanah Anindia R PuriI, Djan Adi, Siswanto	C6
Poly-L-Lactid Acid (PLLA) Dengan <i>Coating</i> Chitosan Sebagai Kandidat <i>Spring-Loaded Silo</i> Untuk Bayi Penderita Gastroschisis Dio Nurdin Setiawan, Rizki Firsta Wahyuliawari, Evelyne Calista, Azizah Fresia Rosdiani, Ewing Dian Setyadi, Prihartini Widiyanti	C12
Karakterisasi Morfologi Variasi <i>Coating</i> Kitosan-Glutaraldehid Terhadap <i>Hollow-Fiber Poly L-Lactic Acid</i> (PLLA) Sebagai Kandidat Pembuluh Darah Dio Nurdin Setiawan, Prihartini Widiyanti, Djoni Izak R	C17
Karakteristik Morfologi <i>Hollow Fiber Poly L-Lactic Acid</i> (Plla) – Kolagen Berlapis Kitosan Sebagai Kandidat Pembuluh Darah Dita Ayu Mayasari, Prihartini Widiyanti, Djoni Izak Rudyardjo	C20
Sifat Fisis Polimer Komposit Susilawati, Aris Doyan, Edy Kurniawan	C24
Karakteristik Papan Komposit Eceng Gondok Dengan Matrik Poly Vinyl Acetate Aris Doyan, Susilawati, Muhammad Multazam	C30
Pembuatan Prototipe <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC) Berbasis Nanopori Tio Memanfaatkan Ekstraksi Klorofil Daun Kenikir (<i>Cosmos Caudatus Kunth</i>) Hendra Darmaja, , Hardani, M. Iman Darmawan, Cari, Agus Supriyanto	C38
Pengaruh Dispersant Polietilen Glikol dan Triton X 100 terhadap Stabilitas Fotokatalis dan Aglomeritas Suspensi Nanopartikel TiO ₂ dalam <i>Dirt-Free Paint</i> Dyah Sawitri, Nur Fadhilah, Nurfadilah, Cindy Claudia Febiola, Ibnu Taufan, Rima Fitria Adiaty	C43
Pengaruh Penambahan Kromium (Cr) Terhadap Karakteristik Paduan Kobalt Dengan Metode Metalurgi Serbuk SB. Widia Rezaly Biharu Hayati, Dyah Hikmawati, Jan Ady	C48
Efek Temperatur Dan Waktu Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Komposit Berpori Berbahan Dasar Limbah Kaca Sulhadi, Nur Hasanah, Meiriani Ismu Savitri, Mahardika Prasetya Aji	C53
Efek Penambahan Calcium Fluoride (CaF ₂) Terhadap Karakteristik Semen Gigi Nano Zinc Oxide Eugenol (ZOE) Dan Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃) Triyas Marweni, Siswanto, Djony Izzak	C56
Sintesis Nanohidroksiapatit Dari Tulang Sotong (<i>Sepia Sp.</i>) Dengan Metode <i>Milling</i> Dan Karakterisasi Secara <i>In Vitro</i> Sebagai Bahan Implan Tulang (<i>Bone Repair</i>) Zulifah I.N, Aminatun, Siswanto	C60
Sintesis Dan Karakterisasi Hidrogel Kitosan-Glutaraldehid dengan Penambahan <i>Plasticizer</i> Gliserol Untuk Aplikasi Penutup Luka Djony Izak Rudyardjo	C65
Pengaruh Variasi Komposisi Biokomposit Hidroksiapatit/Kitosan Dan <i>Gentamicin</i> Terhadap Sifat Makroskopik Untuk Implan Tulang Jan Ady, Desy Puspita Ningrum	C74
Pembentukan Jalinan Ikat Silang (<i>Cross Linking</i>) Pada <i>Ultra High Molecular Weight Polyethylene</i> (Uhmwpe) Sebagai Kandidat Bantalan Sendi Menggunakan Radiasi Gamma	

Mayang Viorita, Siswanto, Adri Supardi	C82
Profil Bahan Cetak Gigi Alginat Berbasis Natrium Alginat Dari <i>Sargasum Sp</i> Selat Madura Prihartini Widiyanti, Siswanto	C92
Freeze Dried – Amniotic Membrane Glutaraldehyd Dengan Coating Dopamin-Kitosan Sebagai Lapisan Otak (Duramater) Artifisial Prihartini Widiyanti, Agresta Afianti Ifada, Alfian Pramudita Putra, Annisa Aulia Rahma, Muhammad Husni Ibrahim, Ludita Woro Indrio	C97
Karakterisasi Morfologi Terhadap Paduan <i>Hollow Fiber Poly L-Lactic Acid</i> (PLLA) –Kolagen Coating Kitosan Sebagai Kandidat Pembuluh Darah Agresta Afianti Ifada, Prihartini Widiyanti, Djoni Izak R	C100
Studi Fabriksi <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Bahan-Bahan Organik Alam (<i>Celosia Argentums</i> Dan <i>Bougenville</i>) Muh.Iman Darmawan, Hardani, Hendra Darmaja, Cari, Agus Supriyanto	C103
Pengaruh Suhu Deposisi Pada Struktur Dan Sifat Optik Film Tipis $ZnO:Ga$ Putut Marwoto, Fatiatun, Sulhadi	C107
Studi Awal Sifat Dielektrik Komposit PVDF/ SiO_2 Woro Setyarsih, Lydia Rohmawati, M. Sukron	C112

D. BIDANG KAJIAN FISIKA OPTIK

Pengukuran Konsentrasi Sukrosa Nira Tebu Dengan Menggunakan <i>Polarimetri</i> Optik Mutmainnah, Imam Rofi'i, Endhah Purwandari	D1
Karakteristik Sifat <i>Thermo Optic Directional Coupler</i> Jenis Silica Singlemode Smf-28 Berdasarkan Kemampuan Menghantar Daya Sujito, Arif Hidayat, Yuni Priyatin	D5

E. BIDANG KAJIAN PENDIDIKAN FISIKA

Pengembangan Modul Kontekstual Fisika Kurikulum Garuda 2013 Untuk SMA Pada Pokok Bahasan Radiasi Elektromagnetik Kiar Vansa Febrianti	E1
Pengaruh Alat Peraga Kotak Energi Model Inkuiri Terbimbing (Apkemit) Terhadap Hasil Belajar Fisika Ditinjau Dari Kemampuan Awal Siswa Budiono Basuki, Aris Doyan, Ahmad Harjono	E11
Pengembangan Bahan Ajar Cai Ipa Dengan Pendekatan <i>Integrative Learning</i> Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Sudi Dul Aji, Tutik Setyowati	E16
Pengaruh Pembelajaran Kolaboratif Murder Dan Motivasi Terhadap Hasil Belajar Fisika Peserta Didik Sma Negeri 7 Kota Makassar Yus'iran, Sidin Ali, Abdul Samad	E23

F. BIDANG KAJIAN FISIKA TEORI DAN FISIKA KOMPUTASI

Penerapan Markov Chain Untuk Prediksi Curah Hujan Harian, Studi Kasus Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan Agussalim, A.J. Patandean, Nasrul Ihsan	F1
Pemodelan Dan Simulasi Biomekanika Gait System Menggunakan Software Scilab 5.5.0 Akif Rahmatillah	F5
Solusi Persamaan Dirac Dengan Spin Simetri Untuk Potensial Scarf Hiperbolik Plus Coulomb Like Tensor Dengan Metode Polynomial Romanovski	

Alpiana Hidayatulloh, Suparmi	F10
Peningkatan Kinerja Sistem PV/T Dengan Kolektor Udara: Analisis Termodinamika Dan Fotonik	
Dadan Hamdani, Yuki Novia Nasution, Supriyanto	F14
Deteksi Anomali Paru-Paru Dengan Metode Rekonstruksi Proyeksi Balik Dalam Tomografi Impedansi Elektrik	
Khusnul Ain, Deddy Kurniadi, Supriyanto, Oerip Santoso	F21
Pemodelan Gaya Berat Untuk Mendeteksi Keberadaan Sesar Di Pulau Lombok	
Suhayat Minardi, Teguh Ardianto, Alfina Taurida Alaydrus	F28
Analisis Sifat Hujan Di Wilayah Bandung Dan Sekitarnya Berbasis Observasi Permukaan Dan Satelit TRMM	
Arief Suryantoro	F33
Kontrol PID Untuk Kontrol Sudut Sudu Turbin Screw	
Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho, Djoko Purwanto, Dedet Candra Riawan	F40
Studi Numerik <i>Water Hammer</i> Dalam Pipa Dengan Menggunakan Metode eksplisit <i>Finite Difference Lax</i>	
Ginanjat Adhika Jiwandoko, Gunawan Nugroho	F45
Sistem Ekstraksi Ciri Sinyal Suara Berbasis Mel Dan Bark Frequency Cepstral Coefficient	
Karisma Trinanda Putra, Djoko Purwanto, Ronny Mardiyanto	F50
Penyelesaian Persamaan Dirac Pada Potensial Poschl-Teller Trigonometrik Plus Potensial Tensor Tipe Coulomb Untuk Kasus Pseudospin Simetri Menggunakan Polinomial Romanovski	
Kholida Ismatulloh, Cari, Suparmi	F54
Analisis Metode Lintasan Feynman Pada Interferensi 1, 2 Dan 3 Celah	
Mahendra Satria Hadiningrat, Endarko, Bintoro Anang Subagyo	F57
Sistem Pendeteksi Obyek Menggunakan <i>Local Binary Pattern Histogram</i> Pada Aplikasi <i>Service Robot</i>	
Riza Agung Firmansyah, Djoko Purwanto, Ronny Mardiyanto	F61
Simulasi Penentuan Tampang Lintang Removal Makroskopik Neutron Cepat 14 Mev Semen Lokal Untuk Bahan Perisai Radiasi Menggunakan Program MCNP5	
Sapiruddin	F65
Penyelesaian Persamaan Dirac Untuk Potensial Eckart Hiperbolik Dengan Tensor Pseudospin Simetri Menggunakan Metode Hipergeometri	
Tri Jayanti, Suparmi, Cari	F69
Solusi Persamaan Schrödinger Bergantung Waktu Menggunakan Metode <i>Finite Difference Time Domain Quantum (FDTD-Q)</i>	
Williana, Bansawang BJ, Eko Juarlin	F73
Kajian <i>Ab Initio</i> Struktur Amorph Dan Liquid Serta Sifat Elektrik <i>Gold Nanoparticle</i>	
A. Aufa Fuad, Andi Zaidan, Adri Supardi	F79
Pengaruh Besar Turbulensi Terhadap Performansi Peningkatan Kecepatan Angin Lokal Pada <i>Diffuser-Augmented Wind Turbine</i> (Dawt) Dengan Variasi Sudut <i>Flange</i>	
M Nurur Rochman, Nasution, Gunawan Nugroho	F84
Studi Awal Interaksi Situs Aktif Asetilkolinesterase Dengan Molekul Asetikolin Dan <i>Rivastigmine</i> Dengan Menggunakan Teori Fungsional Kerapatan.	
Vera Khoirunisa, Masrufaiyah, Fatimatuzzahro, Febdian Rusydi	F89
Penyelesaian Persamaan Dirac Pada Potensial Poschl-Teller Trigonometrik Plus Potensial Tensor Tipe Coulomb Untuk Kasus Pseudospin Simetri Menggunakan Polinomial Romanovski	
Kholida Ismatulloh, ST., Nurul Fitriani, Cari, Suparmi	F90

Klasifikasi Citra Papsmear Berbasis Fitur Tekstur Dan Fuzzy K-Nearest Neighbor <i>Endah Purwanti, Arief Bustomi,</i>	F94
Estimasi Model Satu Dimensi Kecepatan Gelombang P Dan S Di Jawa Tengah Dan Timur <i>Supardiyono, Dzulkiflih</i>	F99

A

BIDANG KAJIAN
BIOFISIKA

REGENERASI TULANG FEMUR PADA TIKUS PUTIH (*RATTUS NORVEGICUS*) MELALUI PENGGUNAAN HIDROKSIAPATIT DARI TULANG SOTONG (*SEPIA* *SP.*) SEBAGAI BONE FILLER

Fadhilah Dwi Estri Handayani¹, Ir. Aminatun, M.Si², Dr. Dwi Winarni, M.Si³

^{1,2,3}Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

Email: dilladwiestri@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui regenerasi tulang femur pada tikus putih (*Rattus norvegicus*) melalui penggunaan hidroksiapatit dari tulang sotong (*Sepia sp.*) sebagai bone filler. Hidroksiapatit didapatkan melalui metode hidrotermal dilanjutkan metode sintering. Metode hidrotermal dilakukan dengan mencampurkan 1M araganit (CaCO_3) dari tulang sotong dan 0.6 M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ pada suhu 200°C selama 12 jam dan metode sintering pada suhu 900°C selama 1 jam. Karakterisasi dilakukan dengan uji XRD dan uji histopatologi. Hasil uji XRD terbentuk 100% hidroksiapatit. Uji histopatologi menggunakan tikus putih (*Rattus norvegicus*) betina. Kelompok perlakuan dibagi menjadi 3 yaitu kelompok kontrol, kelompok tulang bovine dan kelompok tulang sotong, serta waktu penyembuhan selama 28 hari dan 56 hari. Hasil uji histopatologi menunjukkan bahwa pemberian hidroksiapatit tulang bovine dan hidroksiapatit tulang sotong meningkatkan jumlah osteoblas, osteoklas, woven bone, lamellar bone, sistem havers dan bone repair pada waktu penyembuhan 56 hari. Metode statistika menggunakan software SPSS dengan uji Kruskal-Wallis dan Mann-Whitney. Uji statistika menghasilkan perbedaan yang bermakna antara perlakuan kontrol dengan perlakuan tulang bovine dan perlakuan kontrol dengan perlakuan tulang sotong. Sedangkan perlakuan tulang bovine dengan perlakuan tulang sotong tidak terdapat perbedaan yang bermakna pada indikasi pembentukan tulang. Dengan demikian disimpulkan bahwa hidroksiapatit tulang sotong memiliki potensi sebagai bone filler.

Kata kunci : Hidroksiapatit, tulang sotong (*Sepia sp.*), hidrotermal, sintering, histopatologi anatomi, regenerasi tulang.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, kasus yang sering terjadi adalah banyaknya kecelakaan. Banyaknya kecelakaan tersebut mengakibatkan adanya gangguan pada tulang seperti fraktur dan patah tulang. Kerusakan dan gangguan tersebut dapat mempengaruhi aktivitas dan fungsi organ tubuh lainnya. Patah tulang atau fraktur dapat disebabkan oleh beberapa factor antara lain cedera, benturan mekanis, serta osteoporosis (Penga, 2013).

Akibat dari fraktur dan patah tulang dapat mengakibatkan tulang akan mengalami regenerasi. Regenerasi merupakan proses biologis dimana bentuk dan fungsi dari jaringan tulang yang hilang akan kembali normal. Untuk mengatasi berbagai gangguan yang terjadi pada tulang dilakukan beberapa penanganan, salah satu penanganan kerusakan fungsi dan mempercepat proses regenerasi pada tulang dengan cara implantasi biomaterial. Implantasi biomaterial yang banyak dilakukan adalah pembuatan substitusi tulang. Pada dasarnya penggunaan substitusi tulang yang di implantasikan harus memiliki sifat-sifat yang dapat berinteraksi dengan tubuh manusia yaitu biokompatibel dengan semua jaringan di sekitarnya, tidak toksik dan bioaktif (Yildirim, 2004). Telah dikembangkan alternatif material implant dari bahan alam yang dapat digunakan untuk pembuatan hidroksiapatit.

Hidroksiapatit yang disintesis dari bahan alam memiliki kelebihan yaitu sifat osteokonduktivitasnya lebih baik dibandingkan dengan hidroksiapatit yang terbuat dari bahan sintetik (Saraswati, dalam Dewi, 2008). Salah satu bahan alam yang berpotensi dapat digunakan untuk sintesis hidroksiapatit adalah tulang

sotong. Keunggulan dari tulang sotong selain harganya yang ekonomis dan terjangkau oleh masyarakat luas, tulang sotong mengandung kalsium sebesar 84 % yang berpotensi untuk dijadikan bahan dasar hidroksiapatit yang memenuhi syarat sebagai material substitusi tulang (Rini, 2013).

Penelitian tentang sintesis hidroksiapatit dengan sumber CaCO_3 dari tulang sotong telah dilakukan oleh Istifarah (2012) menggunakan metode hidrotermal. Metode tersebut dilakukan untuk mendapatkan kemurniaan tinggi, kristalinitas tinggi, reaktivitas tinggi dan optimasi proses sintering dilakukan oleh penga (2013).

Proses sintering dilakukan dengan pemanasan suhu tinggi yang membentuk fase tertentu yang diinginkan. Penelitian Penga (2013) yang melakukan uji *in vitro* dihasilkan bahwa hidroksiapatit yang disintesis menghasilkan sumber kalsium yang berasal dari tulang sotong menggunakan metode hidrotermal dan metode sintering secara optimal. Pada metode hidrotermal dilakukan pada suhu 200 °C selama 12 jam dan proses sintering pada suhu 900 °C selama 1 jam yang menghasilkan struktur Kristal dan kristalinitas yang sesuai dengan hidroksiapatit komersial. Kuat tekannya mencapai nilai $(11,79900 \pm 0,00057)$ Mpa yang cocok untuk aplikasi tulang *cancellous* (berongga). Serta uji sitotoksitas pada sel fibroblast dengan MTT Assay menunjukkan bahwa hidroksiapatit dari tulang sotong tidak toksik atau tidak beracun dengan viabilitas sel tertinggi 90,89%. Dari hasil uji *in vitro* menunjukkan bahwa hidroksiapatit tersebut layak digunakan sebagai bahan implantasi. Akan tetapi untuk keperluan aplikasi medis, perlu dikembangkan dengan melakukan uji *n vivo*

pada hewan coba untuk mengetahui respon pertumbuhan jaringan tulang.

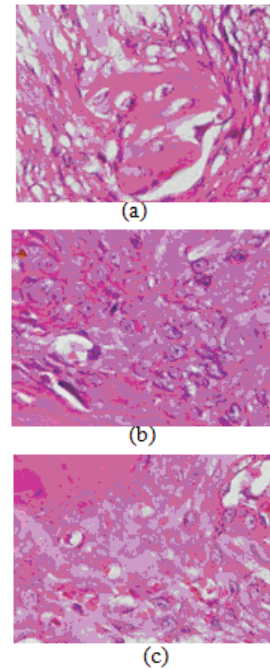
Bone filler biasanya dapat digunakan untuk mempercepat dan merangsang pembentukan tulang. Dengan demikian, perlu dilakukan uji *in vivo* hidroksiapatit dari tulang sotong dengan dilakukan pengamatan histopatologi

METODE PENELITIAN

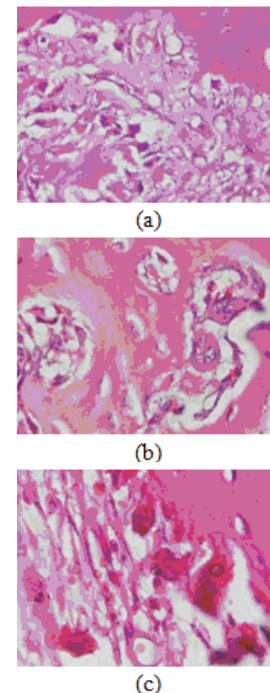
Pada penelitian ini menggunakan 30 ekor tikus putih (*Rattus norvegicus*) betina berumur 3-4 bulan dengan berat badan sekitar 200-300 gram. Kelompok perlakuan yang digunakan yaitu kontrol yang tidak diberi material uji, perlakuan dengan memberikan sintesis dari tulang sotong dan memberikan hidroksiapatit dari tulang sapi (bovine). Tikus putih (*Rattus norvegicus*) diadaptasikan selama 1 minggu dengan perawatan yang baik dan selanjutnya dilakukan perlakuan dengan pengeboran dan pembedahan bagian femur dexter. Pada 28 hari dan 56 hari setelah operasi, tikus-tikus tersebut dieuthanasi atau dimatikan dan diambil organ bagian tulang femur untuk dilakukan pengamatan proses regenerasi tulang. Setelah dieuthanasi, dilakukan pembuatan preparat histopatologi dan dapat dilakukan analisis data atau diagnosa untuk mengetahui perkembangan yang meliputi perkembangan osteoblas, osteoklas, woven bone, lamellar bone, sistem havers dan bone repair

Pada gambaran histopatologi sel osteoblast, osteoklas, woven bone, lamellar bone, sistem havers dan bone repair yang terjadi peningkatan pada tikus-tikus yang diberikan perlakuan tulang bovine dan tulang sotong pada hari ke 28 dan 56 hari. Pemberian hidroksiapatit dari tulang bovine dan tulang sotong ternyata menimbulkan perubahan dalam proses regenerasi tulang atau proses penyembuhan tulang. Berikut adalah gambaran sel osteoblast pada hari ke 28 dari perlakuan kontrol, bovine dan sotong.

Pada hari ke 28, sel osteoblast cenderung menepel pada pembuluh darah yang membentuk granulasi pada sel. Ciri osteoblast antara lain seperti adanya nukleus bulat pada bagian basal sel yang terdapat satu sampai 3 buah nukleus dan sitoplasma yang bersifat basofil. Berikut adalah gambaran sel osteoblast pada hari ke 28.



Gambar 2. Gambar sel osteoblas pada 28 hari dengan perlakuan (a) kontrol (b) bovine dan (c) sotong



Gambar 3. Gambar sel osteoblast pada hari ke 56 dengan perlakuan (a) kontrol, (b) bovine dan (c) sotong.

Pemberian material uji hidroksiapatit yang diberikan kepada tikus memiliki potensi yang baik dalam mempercepat proses pertumbuhan tulang yang ditandai dengan semakin bertambahnya sel osteoblast yang diberikan. Sedangkan pada waktu perlakuan hari ke 56, didapatkan sel osteoblast yang semakin bertambah. Sel osteoblast merupakan sel yang terpolarisasi. Fungsi dari osteoblast sendiri untuk menyekresikan dan

mengendapkan unsur organik matriks tulang baru (osteoid). Berikut adalah hasil gambaran sel osteoblast pada 56 hari perlakuan. Semakin lama waktu perlakuan semakin banyak terbentuknya sel osteoblast dalam satu lapang pandang jaringan tulang femur. Berikut adalah hasil gambaran sel osteoblast pada hari ke 56

Osteoblast ditemukan berjajar membatasi matriks tulang dimana sel tersebut memproduksi jaringan tulang yang belum terkalsifikasi. Proses pematangan jaringan kurang lebih terjadi selama 10-14 hari.

KESIMPULAN:

Pemberian material implan dari sintesis hidroksiapatit dari tulang sotong dapat mempercepat regenerasi tulang. Semakin lama waktu penyembuhan tulang, semakin efektif penggunaan material implan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, Setia Utami. 2009. Pembuatan Komposit Kalsium Fosfat – Kitosan dengan Metode Sonikasi. Tesis Sekolah Pasca sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Ekawati, Dhian. 2008. Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Aluminium Grafit dengan Wetting Agent Tembaga. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia,
- Fauzi A, Rahyussalim, Aryadi, Tobing SD. Cedera Sistem Muskuloskeletal. Departemen Bedah Divisi Orthopaedi dan Traumatologi FKUI/RSCM. Desember 2009.
- Ganong WF. 2003. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran. 20th ed. Jakarta: EGC. P.369.
- Gunawarman, M.A., Mulyadi S., Riana, H.A., 2010, Karakteristik Fisik dan Mekanik Tulang Sapi Variasi Berat Hidup sebagai Referensi Desain Material Implan. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNMTTM) ke-9.
- Hui, P, Meena, S.L., Singh, G., Agarawal, R.D., Prakash, S., 2010, Synthesis of Hydroxyapatite Bio-Ceramic Powder by Hydrothermal Method, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 9, No.8, pp.683-692, India.
- Istifarah, Aminatun, Prihartini Widiyanti, 2012. Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sotong (Sepia Officinalis L) dengan Metode Hidrotermal untuk Tujuan Bone Repair. Fakultas Sains dan Teknologi UNAIR
- Junquera LC & Carneiro J. 2007. Histopatologi Dasar Teks dan Atlas. 10th ed. Jakarta: EGD. Pp:134-135
- Keaveny, T.M., Morgan, E.F., Yeh, O.C., 2004, Bone Mechanics, Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design.
- Nursalam. 2008 .Konsep dan Penerapan Metodologi Penelitian Keperawatan : Pedoman Skripsi, Tesis dan Instrumen Keperawatan. Edisi 2. Jakarta : Salemba Medika, hal 39-106.
- Pramusita, Adya. 2013. Aplikasi Serbuk Natural Hidroksiapatit-Kitosan Dengan Kadar 70:30 dan 30:70 Terhadap Proliferasi Osteoblas. Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Pratiwi, Kolina Dewi. 2011. Dinamika Sel Darah Putih Pada Domba Lokal yang Diimplantasi Material Tulang Hidroksiapatit-Trikalsium Fosfat (HA-TKF) dan Hidroksiapatit-Kitosan (HA-Kitosan). Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor, Jakarta.
- Rini, D.K. 2013. Pembuatan Biphasic Calcium Phosphate (BCP) dengan Metode Hidrotermal. Institut Pertanian Bogor.
- Rismawati, Dyah Retno, 2008, Sintesis Hidroksiapatit Menggunakan Bahan Dasar Batu Gamping. Skripsi FMIPA Unair Surabaya.
- Smelter MS. 2002. The Treatment of Experimental Osteomyelitis by Surgical Debridement and the implantation of calcium Sulfate Tombramycin Pellets. Journal Orthop Res. 20(4):643
- Penga, Yohana Maria. 2013. Pengaruh Proses Sintering Terhadap Karakteristik Hidroksiapatit dari Tulang Sotong. Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi UNAIR

PENGUNAAN EKSTRAK DAUN BINAHONG (*BASSELA RUBRA LINN*) SEBAGAI ZAT PEKA CAHAYA TiO₂-NANO PARTIKEL DALAM DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Hardani², Hendra², Muh. Iman Darmawan², Cari¹, Agus Supriyanto¹

Dosen Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Mahasiswa S2 Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Email (contact person); danylastchild07@gmail.com

Abstrak

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan salah satu dari sel-sel listrik fotokimia yang terdiri dari fotolektroda, pewarna, elektrolit, dan counter elektroda. Tujuan menggunakan pewarna pada DSSC guna memperluas spektrum absorpsi pada cahaya tampak karena cahaya tampak memiliki sekitar 96% energi dari cahaya matahari. Telah dilakukan fabrikasi DSSC dengan menggunakan dye ekstrak daun binahong (*Bassela rubra linn*) dengan variasi perendaman TiO₂ dengan teknik pelapisan Spin Coating. Variasi perendaman TiO₂ yang digunakan yaitu substrat TiO₂ yang direndam dalam dye selama 4 jam, 8 jam, 12 jam, 24 jam dan 36 jam. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan sumber cahaya lampu halogen. diperoleh karakteristik dari DSSC tersebut adalah Voc 0,177 mV, Isc 0,0003 mA, P max $2,32 \times 10^{-5}$ mWatt, FF $1,44 \times 10^{-5}$ untuk sampel ekstraksi daun binahong, Voc 0,107 mV, Isc 0,0001 mA, P max $5,22 \times 10^{-5}$ mWatt, FF $1,14 \times 10^{-5}$ untuk sampel ekstraksi euphorbia. Sedangkan untuk sampel ekstraksi daun rhoe discolor diperoleh Voc 0,37 mV, Isc 0,0002 mA, P max $5,45 \times 10^{-5}$ mWatt, FF 7,02. Dengan teknik perendaman TiO₂ pada masing-masing dye akan menghasilkan nilai tegangan dan arus yang lebih besar dan waktu preparasi yang lebih efisien. Pada penelitian ini telah berhasil dibuat elektroda foto-anoda berbahan titanium dioksida (TiO₂) ukuran nanopartikel berbentuk film tebal (thick film) yang dideposisikan diatas gelas transparan konduktif FTO (fourine doped-tin oxide) dengan metode spin coating, suatu metode percepatan larutan pada substrat yang diputar. Hasil menunjukkan bahwa pewarna alami dari ekstraksi bahan alam memiliki spektrum absorbansi kisaran 300-520 nm yang merupakan zat hijau daun (klorofil) dan konduktivitas terbesar dimiliki oleh daun binahong. Foto-anoda TiO₂ kemudian diaplikasikan sebagai elektroda kerja pada DSSC dengan ekstrak daun binahong (*Bassela rubra linn*) sebagai sensitizer. Dari hasil pengujian menggunakan solar simulator AM 1.5G (100 mW/cm²) didapatkan bahwa volume prekursor TiO₂ mempengaruhi unjuk kerja sel surya DSSC dan diperoleh overall conversion efficiency mencapai 0,01 % untuk dye daun binahong, 0,023% untuk dye bunga euphorbia dan 0,024% untuk dye rhoe discolor.

Kata kunci: Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), Sensitizer, Fourine doped-Tin Oxide (FTO), Klorofil, Spin Coating

PENDAHULUAN

Sel surya berdasarkan perkembangan teknologi saat ini dan bahan pembuatannya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pertama, sel surya yang terbuat dari silikon tunggal, dan silikon multi kristal. Kedua, sel surya tipe lapis tipis dan yang ketiga sel surya organik (*Dye Sensitized Solar Cell*). Sel surya konvensional berupa sambungan *p-n junction* yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, masih mahal untuk dikembangkan karena menggunakan teknologi yang canggih. Hingga ditemukan oleh Gratzel yaitu sel surya organik, DSSC sebagai sel surya dengan dye sensitizer dari bahan organik dapat dikembangkan dengan biaya yang murah serta fabrikasi mudah.

Salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah sel surya (*photovoltaic/solar cell*) yang mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik. DSSC berbeda dengan sel surya komersial berbasis silikon, dimana pada sel surya DSSC ini terjadi pemisahan antara fungsi penyerapan cahaya dengan transport pembawa muatannya. DSSC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sel surya komersial berbasis silikon diantaranya murah, pembuatannya mudah, serta memiliki efisiensi tinggi walau pada intensitas cahaya yang kurang. Komponen-

komponen didalam DSSC pada umumnya terdiri dari elektroda kerja berupa elektroda foto-anoda dari bahan semikonduktor (misalkan: TiO₂ dan ZnO), dye sebagai sensitizer yang menyerap cahaya matahari, pasangan redox berupa triiodide/iodide, dan counter elektroda berbahan Platina (Pt).

Sedangkan kelemahan dari sel surya berbasis silikon tidak hanya harganya yang mahal, juga spektrum penyerapan terlalu sempit. Diketahui distribusi energi dari sinar matahari terdiri sekitar 4% ultraviolet dan cahaya tampak 96%. Spektrum utama penyerapan sel surya silikon adalah ultraviolet dan ungu. Ini menunjukkan sel surya silikon tidak dapat menggunakan hampir 96% energi dari cahaya matahari. Upaya untuk memperluas spektrum serapan dari daerah ultraviolet hingga wilayah cahaya tampak sekarang diaplikasikan sebagai Dye Sensitized Solar Cell, dimana pewarna dapat membantu DSSC untuk memperluas spektrum penyerapan.

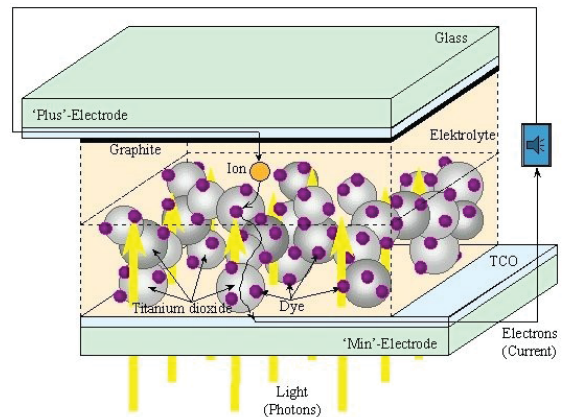
Kesulitan teknis pengembangan DSSC untuk memperpanjang masa pakai DSSC dan meningkatkan penyerapan kuantitas cahaya matahari, karena pewarna organik dengan mudah akan busuk. Semua pertanyaan untuk dye adalah sangat menarik dan layak untuk dipelajari. Penelitian menyajikan beberapa data eksperimen dari berbagai bahan alam yang dapat digunakan sebagai bahan sensitizer. Analisis bahan

dilakukan pada sifat optik dan listrik bahan organik dari ekstrak daun binahong (*Bassella rubra linn*), bunga euphorbia dan daun rhoeo discolor. Hasil ekstrak dari bahan alam yang digunakan dalam penelitian menunjukkan absorbansi kisaran 300-520 nm. Metode yang umum digunakan untuk membuat *thick film* TiO₂ adalah dengan melapiskan pasta nanopartikel TiO₂ di atas gelas transparan konduktif (gelas FTO) menggunakan metode *doctor blade / Slip Casting*. Namun metode ini memiliki kelemahan, sulit mendapatkan film dengan ketebalan yang konsisten. Pada penelitian ini menggunakan metode *spin coating*, dengan metode ini terbukti menghasilkan film dengan ketebalan terkontrol dan memiliki homogenitas tinggi serta proses yang simpel. Ketebalan film yang terkontrol memungkinkan untuk mendapatkan film dengan pengulangan yang konsisten. Untuk mendapatkan DSSC dengan efisiensi tinggi ketebalan film pada elektroda foto-anoda TiO₂ yang optimum karena ketebalan film ini mempengaruhi proses penyerapan cahaya (*light absorption*).

Pada dasarnya prinsip kerja DSSC mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular dalam bentuk reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada *dye* akibat absorpsi foton. Dimana ini merupakan salah satu peran dari sifat TiO₂. Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh *dye* yang melekat pada permukaan TiO₂. Sehingga *dye* mendapatkan energi untuk tereksitasi. *Dye* tereksitasi membawa energi dan diinjeksikan ke pita konduksi pada TiO₂. TiO₂ berperan sebagai akseptor atau kolektor elektron. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi. Selanjutnya elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda pembanding (elektroda yang mengandung lapisan platina). Elektrolit (pasangan iodide dan triiodide) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Ion Triiodide menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul platina sebagai katalis. Elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan dibantu oleh platina sehingga dapat bereaksi dengan elektrolit yang menyebabkan penambahan ion iodide pada elektron. Kemudian satu ion iodide pada elektrolit mengantarkan elektron yang membawa energi menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi. Sehingga *dye* kembali ke keadaan awal.

Secara umum, Gambar 1 menunjukkan DSSC terdiri dari *dye-sensitized* yang terbuat dari bahan organik, lapisan TiO₂ nanokristal, larutan elektrolit yang mengandung pasangan redoks I⁻/I₃⁻ dan substrat kaca FTO sebagai elektroda kerja. Faktor luar area dan ketebalan lapisan semikonduktor yang mengatur peningkatan beban *dye*, kemudian kerapatan optis yang menghasilkan efisiensi penyerapan cahaya. Kerapatan optis menyatakan ukuran transmisi suatu elemen optik dengan panjang gelombang tertentu. Jika dihubungkan

dengan pemberian radiasi pada suatu objek, maka kerapatan optisnya merupakan perbandingan antara intensitas awal dan intensitas transmisi.



Gambar 1 Skema DSSC

DSSC berbentuk struktur *sandwich*, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO₂ dengan *dye* dan elektroda pembanding yang terbuat dari kaca FTO dilapisi platina yang mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Elektroda pembanding terbuat dari kaca FTO yang dilapisi dengan platina karena memiliki konduktivitas yang cukup dan resistansi panas dan aktivitas elektrokatalitik dari reduksi triiodide.

TiO₂ adalah material fotokatalis yang memiliki daya oksidasi yang kuat, photostabilitas yang tinggi dan selektivitas redoks. Syarat penting untuk meningkatkan aktivitas katalis dari TiO₂ adalah meningkatkan luas permukaan dari TiO₂ yang bergantung pada ukuran kristalnya.

Sifat fisis dan kimia dari TiO₂ bergantung pada ukuran, morfologi dan struktur kristalnya. TiO₂ memiliki tiga bentuk kristal yaitu anatase, rutile, dan brookite. Kristal TiO₂ fase anatase memiliki kemampuan yang lebih aktif daripada rutile. Anatase dianggap sebagai fase yang paling menguntungkan untuk fotokatalisis dan konversi solar energi. TiO₂ hanya mampu menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra TiO₂ di daerah tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai *sensitizer*.

EKSPERIMEN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari ekstrak daun binahong (*Bassella rubra linn*) terhadap peningkatan efisiensi sel surya berbasis DSSC dan mengetahui karakterisasi sifat listrik dari ekstrak daun binahong (*Bassella rubra linn*). Ekstraksi diuraikan pada sub bagian berikut.

2.1 EKSTRAKSI PEWARNA ALAMI

Bahan-bahan yang hendak diekstraksi dibersihkan dengan air, kemudian sebanyak 10 gram masing-masing bahan dihaluskan dengan mortal dan setelah halus tiap bahan dicampur 35 ml *etanol* diaduk selama 30 menit 200 rpm menggunakan *vortex stirrer* pada suhu kamar. Setelah diaduk kemudian didiamkan

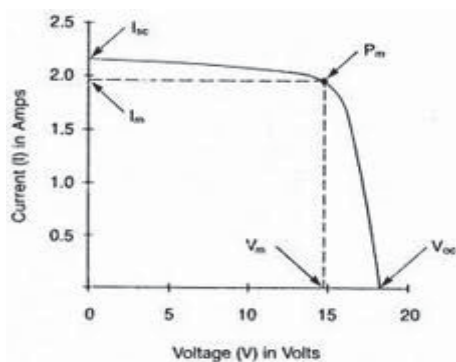
selama 24 jam dan disaring menggunakan kertas saring Filter Paper 103. Setelah penyaringan simpan larutan dalam wadah tertutup dan terlindung dari sinar matahari.

2.2 ANALISIS PENYERAPAN

Kandungan tiap-tiap bahan hasil ekstraksi dianalisa menggunakan *Spectrofotometer UV Visible shimadzu 1601 PC* untuk menentukan sifat absorpsi bahan. Rentang panjang gelombang analisis penyerapan spektrum di cahaya tampak 300 – 800 nm. dari hasil pengukuran sifat absorpsi kemudian diketahui jenis kandungan *dye* dari bahan alam.

2.3 KONDUKTIVITAS BAHAN

Sifat kelistrikan dapat diukur dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter dengan variable beban. Pengukuran *fill factor (FF)* dan efisiensi (η) solar energi menurut persamaan 1, berdasarkan grafik I-V seperti ditunjukkan Gambar 2



Gambar 2 Grafik I-V pada photovoltaic yang bekerja secara normal

$$FF = \frac{I_{max} V_{max}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (1)$$

dimana FF = fill factor

I_{max} = arus maksimum

V_{max} = tegangan maksimum

I_{sc} = arus yang dihasilkan pada keadaan *short circuit*

V_{oc} = tegangan input

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_{max} V_{max}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Pengukuran konduktivitas menggunakan *Elkahfi 100/IV-Meter* dilakukan dalam keadaan gelap dengan menutup semua bagian wadah menggunakan aluminium foil dan di bawah penyinaran menggunakan sumber cahaya lampu halogen 100 mW/cm² dan energi intensitas 680.3 W/m². Lampu halogen digunakan karena memiliki spektrum penuh yang mirip cahaya tampak dengan sinar matahari. Dari hasil pengukuran I-V kemudian ditentukan konduktivitas (σ) bahan. Untuk menentukan konduktivitas larutan organik dapat menggunakan persamaan:

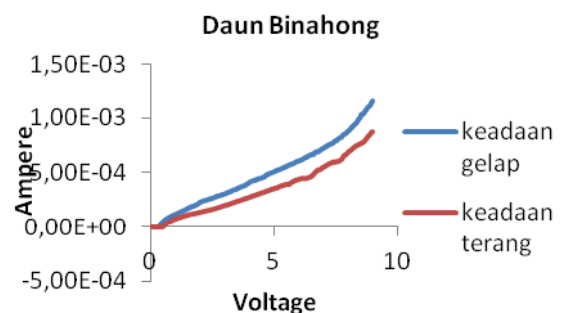
$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{RA} \quad (4)$$

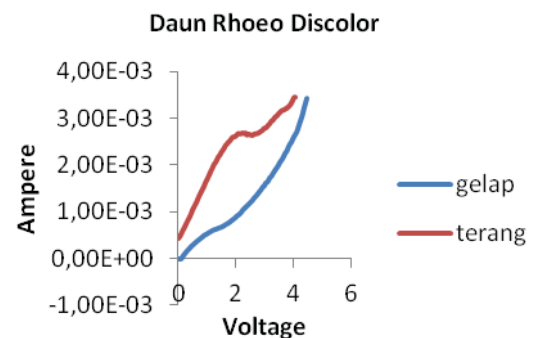
Dimana σ adalah konduktivitas (ohm⁻¹.m⁻¹), R adalah resistansi (Ohm), l adalah jarak antara dua elektroda (m) dan A adalah penampang permukaan daerah elektroda (m²).

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian menggunakan bahan organik seperti daun binahong, bunga euphorbia dan daun rhoeo discolor diekstrak menggunakan *etanol* dengan perbandingan tetap 10 gram bahan organik 35 ml pelarut. Kemudian diuji absorpsi menggunakan *Spectrofotometer UV Visible shimadzu 1601 PC* dan pengukuran Arus-Tegangan menggunakan I-V meter/elkahfi 100 dari I-V untuk mengetahui nilai konduktivitas *dye*.



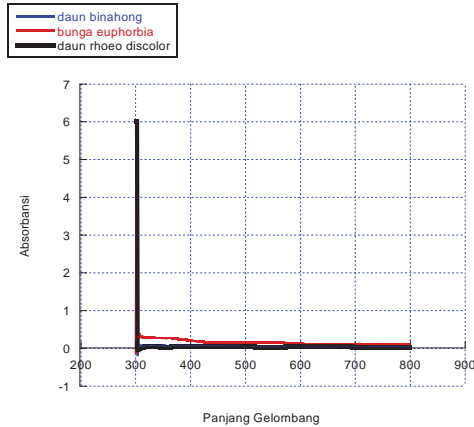
Gambar 3.1 Konduktivitas *dye* daun binahong menggunakan I-V Meter / Elkahfi



Gambar 3.2 Konduktivitas *dye* daun rhoeo discolor menggunakan I-V Meter / Elkahfi

Dari gambar 3.1 menunjukkan kurva I-V nilai konduktivitas dari *dye* daun binahong menghasilkan arus pada keadaan gelap maximum sebesar $1,15 \times 10^{-3}$ mA lebih tinggi dibandingkan arus pada keadaan terang yaitu $8,8 \times 10^{-4}$ mA. Sedangkan pada gambar 3.2 menunjukkan kurva I-V nilai konduktivitas dari *dye* daun rhoeo discolor pada arus gelap $3,42 \times 10^{-3}$ mA dan

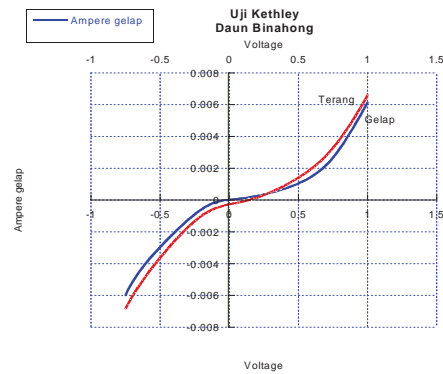
pada arus terang yaitu $3,45 \times 10^{-3}$ mA sehingga pada arus terang lebih besar dari pada arus gelap. Hal ini membuktikan sifat listrik dari *dye* daun rhoeo discolor lebih baik dibandingkan sifat listrik dari *dye* daun binahong.



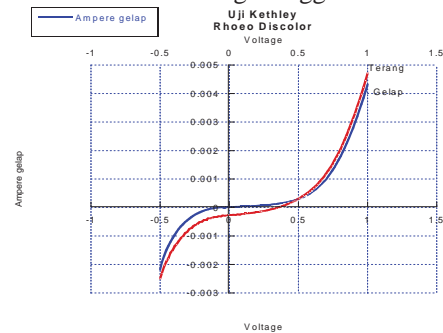
Gambar 3.3 Absorbansi *dye* daun binahong, bunga euphorbia dan daun rhoeo discolor menggunakan Spectrofotometer UV Visible shimadzu 1601 PC

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa perbandingan tetap antara berbagai bahan organik dan pelarut menghasilkan absorbansi yang berbeda. Hal ini menunjukkan spektrum pewarna diekstrak dari berbagai bahan organik memiliki spektrum penyerapan yang berkisar 300 – 580 nm.

Dari gambar 3.4 dan gambar 3.5 menunjukkan bahwa karakteristik dari sel *dye* daun rhoeo discolor lebih bagus dibandingkan sel *dye* daun binahong. Secara otomatis tingkat efisiensi *dye* daun rhoe discolor lebih tinggi dari *dye* daun binahong. Untuk lebih jelasnya



Gambar 3.4 Pengujian karakteristik DSSC dari *dye* daun binahong menggunakan Kethley



Gambar 3.5 Pengujian karakteristik DSSC dari *dye* daun rhoeo discolor menggunakan Kethley.

spesifikasi DSSC dapat dilihat pada tabel Spesifikasi DSSC di bawah ini. Dari tabel dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi dihasilkan oleh *dye* daun rhoe discolor sebesar 0,024%, bunga euphorbia 0,023% dan daun binahong 0,01%.

Tabel 1 Spesifikasi DSSC

Bahan organik	Imax (mA)	Vmax (mV)	Isc (mA)	Voc (mV)	Fill Factor	Efisiensi (%)
Daun Binahong	0,006	1,0002	0,0003	0,177	$1,449 \times 10^{-5}$	0,01
Bunga Euphorbia	0,008	1,0001	0,0001	0,107	$1,147 \times 10^{-5}$	0,023
Daun Rhoeo Discolor	0,004	1,0002	0,0002	0,37	7,02	0,024

4. KESIMPULAN

1. Pengukuran dan analisis penyerapan spektrum pewarna alam ekstrak dari daun binahong, bunga euphorbia dan daun rhoeo discolor telah dilakukan dengan perbandingan massa bahan alam dan volume pelarut dijaga tetap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pewarna diekstrak dari bahan alam tersebut memiliki spektrum penyerapan di panjang gelombang antara 300 – 580 nm.
2. Pengukuran *I-V Meter/Elkahfi* digunakan sumber tegangan sama sebesar 9 volt menghasilkan arus listrik dari *dye* daun rhoeo discolor lebih besar daripada *dye* daun binahong.

3. Hasil pengukuran absorbansi mulai yang terbesar sampai terkecil yaitu berturut-turut dari ekstrak daun binahong, daun rhoeo discolor dan bunga euphorbia. Hal ini menjadikan bahan organik perlu untuk di selidiki sebagai bahan *sensitizer* DSSC.
4. Efisiensi yang tertinggi dihasilkan oleh ekstrak daun rhoeo discolor 0,024%, sedangkan ekstrak bunga euphorbia 0,023% dan ekstrak daun binahong 0,01% .

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada pengelola Laboratorium MIPA UNS Surakarta dan dukungan dari LPPM hibah pasca UNS Surakarta dengan No. 301A/ UN27/ PN/ 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Teguh Priyambodo, *Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Memecah Kebuntuan Kebutuhan Energi Nasional dan Dampak Pencemaran Lingkungan*, URL: <http://www.chem-istry.org/?sect=artikel&ext=114> (Diakses 15 Juli 2014).
- Hagfeldt A., Didriksson B., Palmqvist T., Lindstrom H., Sodergren S., Rensmo H. And Lindquist S-E, *Solar Energy Mater. And Solar Cells* (1994), Verification of high efficiencies for the Gratzel-cell. A 7% efficient solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, Vol. 31, pp 481 – 488.
- Ma T., Akiyama M., Abe E., and Imai I, *Nano Letters* (2005), High-efficiency dye-sensitized solar cell based on a nitrogen-doped nanostructured titania electrode, Vol. 5, pp 2543 – 2547.
- Lin T-W., Lin J-R., Tsai S-Y., Lee J-N., dan Ting C-C., 2007, Absorption Spectra Analysis of Natural Dyes for Applications in Dye-Sensitized Nano Solar Cells, *The 31st National Conference on Theoretical and Applied Mechanics*, December 21-22, 2007, ISU, Kaohsiung, Taiwan, R.O.C.
- Grätzel, M., 2006. Photovoltaic performance and long-term stability of dye-sensitized mesoscopic solar cells. *Elsevier: C. R. Chimie* 9 (2006) 578–583.
- Grätzel, M., 2003. Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4 (2003) 145–153
- Kalyanasundaram K., Grätzel M., 1998, Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices, *Coordination Chemistry Reviews*, 77 (1998) 347 – 414
- Purwanto A., Widiyandari H., and Jumari A., *Thin solid Film* (2012), Fabrication of high performance fluorine doped-tin oxide film using flame-assisted spray deposition, Vol. 520 pp. 2092–2095.
- Agarwala S., Kevin M., Wong A.S.W., Peh C.K.N., Thavasi V., and Ho G. W., *ACS Applied Materials & Interfaces* (2010), Mesophase ordering of TiO₂ film with high surface area and strong light harvesting for dye-sensitized solar cell, Vol. 2, pp 1844 – 1850.

IDENTIFIKASI SIFAT KELISTRIKAN TITIK AKUPUNTUR UNTUK DIAGNOSIS PENYAKIT ASMA.

Norienna V.R.^{1*}, Welina R.K.¹ dan Drs Tri A.P.¹

¹Program Studi Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

*email :

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sifat kelistrikan titik akupuntur untuk diagnosis antara orang sehat dan penderita asma. Pengambilan data dilakukan dengan perekaman profil potensial listrik pada titik akupuntur Feishu, Phishu dan Shenshu pada orang sehat dan orang asma masing-masing 10 orang perempuan berusia 20-30 dibuktikan dengan pemeriksaan dokter di Puskesmas Kalijudan, Surabaya. Profil potensial listrik terkait organ dalam bentuk sinyal listrik diperoleh dari hasil perekaman profil potensial listrik domain waktu. Perekaman dilakukan selama 180 detik. Hasil perekaman profil potensial domain waktu tidak dapat dibedakan secara nyata sehingga dilakukan pemrosesan sinyal dengan metode analisis FFT (Fast Fourier Transform) dengan pencuplikan setiap bingkai data dilakukan setiap 5 detik. Terdapat perbedaan signifikan pada kelompok frekuensi 0-5 Hz dengan $p=0,001$ pada titik Shenshu, 148-152 Hz dengan $p=0,010$ pada titik Phishu, 198-203 Hz dengan $p=0,004$ pada titik Feishu sedangkan nilai $p=0,011$ pada titik Phishu, 348-352 Hz pada titik Feishu dan Shenshu keduanya memiliki nilai p yang sama yaitu $p=0,004$ dan 398-402 Hz dengan $p=0,009$ pada titik Phishu. Berdasarkan pola kecenderungannya, didapatkan bahwa profil potensial listrik pada titik akupuntur untuk orang sehat lebih rendah amplitudonya dibanding dengan orang sakit. Hasil analisis profil potensial listrik pada titik akupuntur dapat digunakan untuk diagnosis dini penyakit asma namun masih dibutuhkan pemeriksaan secara medis kedokteran karena hasil kurang akurat.

Kata Kunci : potensial listrik tubuh, titik akupunktur, asma, FFT.

PENDAHULUAN

Kemajuan zaman menuntut manusia melakukan berbagai macam aktivitas akibatnya pola hidup yang kurang teratur ditambah pemicu lain seperti stress, kelelahan atau waktu makan yang tidak tepat. Dampak yang ditimbulkan adalah manusia mudah terserang penyakit berbahaya yang menyerang organ vital di dalam tubuh hingga mengakibatkan terjadinya kematian. Sebagian contoh penyakit berbahaya yang sering tersebar di masyarakat dunia seperti stroke, hipertensi, hepatitis hingga gangguan paru. Dari jenis-jenis gangguan tersebut asma adalah salah satu penyakit gangguan paru yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Asma merupakan suatu penyakit yang ditandai oleh tanggap reaksi yang meningkat dari trakea dan bronki terhadap berbagai rangsangan yang manifestasinya berupa kesukaran napas, karena penyempitan yang menyeluruh dari saluran nafas (Alsagaff dkk, 1989). Sehingga dibutuhkan sebuah terapi untuk diagnosis ataupun penyembuhan.

Pada penelitian ini metode terapi akupuntur digunakan untuk diagnosis. Metode terapi akupuntur yang terdiri dari titik-titik akupuntur dan meridiannya adalah suatu metode terapi dengan memberikan rangsangannya di titik akupuntur. Rangsangan dititik akupuntur ini dapat merekam organ tertentu melalui jalur meridian. Salah satu dari pemanfaatan kepentingan diagnosis fungsi organ tubuh dengan cara analisis profil potensial listrik pada titik akupuntur. Mengetahui kelainan fungsi organ dengan memanfaatkan aktifitas kelistrikan dari organ melalui titik akupuntur untuk diamati dan dijadikan sebagai indikator kelainan fungsi organ sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Puspa Erawati dkk (2004).

Dalam penelitian ini digunakan titik akupuntur yang spesifik ke organ meridian Shu belakang, yaitu titik Feishu (Paru), Pishu (Limpa), dan Shenshu (Ginjal). Penelitian yang diharapkan adalah memanfaatkan aktifitas kelistrikan dari organ melalui titik akupuntur untuk dianalisis kemudian profil potensial listrik tersebut dijadikan sebagai indikator kelainan fungsional organ paru-paru penderita asma.

Profil potensial listrik pada titik akupuntur yang diperoleh akan dianalisis dengan *Fast Fourier Transform* mengubah sinyal profil potensial listrik domain waktu menjadi profil potensial listrik domain frekuensi melalui software *IWorx Labscrisp* hingga diperoleh hasil yang dapat memperlihatkan perbedaan secara nyata profil potensial listrik pada kondisi sehat dan pada kondisi penderita asma.

Dengan dapat dibedakannya profil potensial listrik kedua kondisi ini diharapkan dapat menjadi suatu metode diagnosis baru untuk organ-organ lainnya yang terkena dampak penyakit asma serta rangsangan yang dapat memicu timbulnya asma diketahui dengan perbandingan analisis sinyal orang normal dengan orang berpenyakit asma. Metode diagnosis tersebut menggunakan prinsip fisika dan dapat mengetahui implementasi serta pentingnya prinsip fisika dalam metode penelitian khususnya analisis sinyal.

TINJAUAN PUSTAKA

Penyakit Asma

Asma merupakan suatu penyakit yang ditandai oleh tanggap reaksi yang meningkat dari trakea dan bronki terhadap berbagai macam rangsangan yang manifestasinya berupa kesukaran napas, karena penyempitan yang menyeluruh dari saluran nafas. Penyempitan ini bersifat dinamis dan derjat penyempitannya dapat berubah-ubah, baik secara

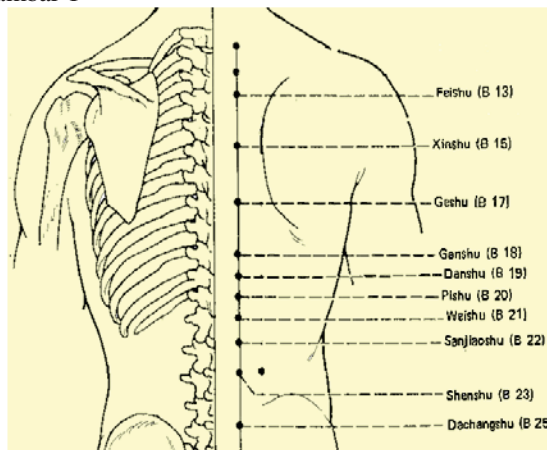
spontan maupun karena pemberian obat-obatan. Kelainan dasarnya tampak suatu perubahan status imunologis pada penderita.

AKUPUNTUR

Akupunktur berada dalam suatu bidang khusus diantara bidang-bidang kedokteran lainnya, yaitu bidang bioelektrik. Pada penelitian ini menggunakan titik Shu Belakang, yang merupakan titik di mana Qi organ terpancar ke permukaan tubuh dan titik tersebut terletak setinggi organ bersangkutan (Saputra dan Idayanti, 2005). Berikut merupakan letak titik-titik akupunktur Shu belakang yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Feishu (BL-13) : merupakan titik Shu Paru, terletak di antara thorakal III-IV, 2 jari lateral dari meridian du.
2. Pishu (BL-20): merupakan titik Shu Limpa, terletak di antara thorakal IX-XII, 2 jari lateral dari meridian du.
3. Shenshu (BL-23) : merupakan titik Shu Ginjal, terletak di antara Lumbal II-III, 2 jari lateral dari meridian du.

Letak titik-titik tersebut dapat diamati pada gambar 1



Gambar 1 Titik-Titik Akupunktur Shu Belakang
(<http://compassionatedragon.com>)

Kelistrikan sistem saraf dan neuron

Sel saraf berfungsi untuk menerima, menginterpretasi, dan men-transmisikan pesan listrik.

Potensial listrik

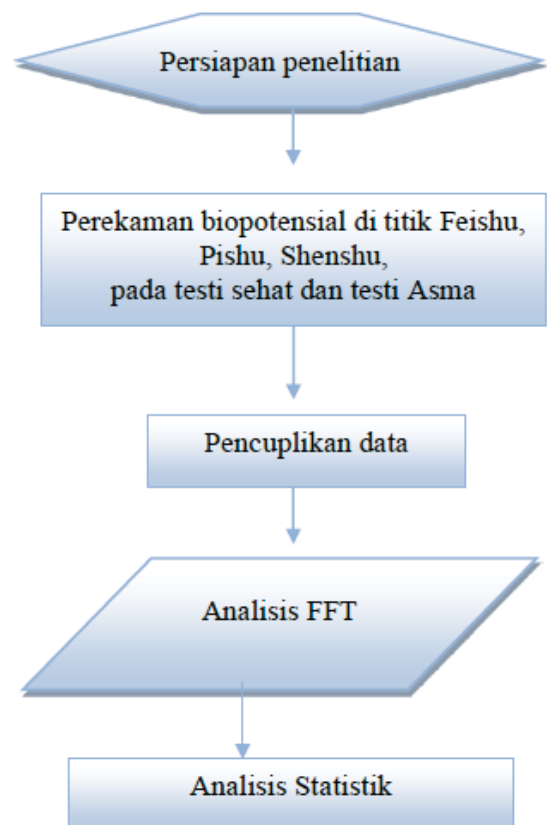
Di seluruh permukaan atau membran neuron terdapat beda potensial (tegangan) yang disebabkan adanya ion negatif yang lebih di bagian dalam membran daripada di luar.

Pengenalan iworx labscribe

Pesawat akuisisi data dalam *IWORX teaching kits* adalah dengan alat perekam empat channel. Channel 1 dan 2 pada IWX/214 dan 204 dan Channel 1 pada IWX/214 telah dibuat penguat biopotensial yang menerima masukan listrik melalui kabel AMMI. Pengontrol mode untuk channel-channel tersebut mengharapkan ketepatan filter set untuk perekaman ECG, EEG, EMG, dan signal dari sumber lain.

METODE PENELITIAN

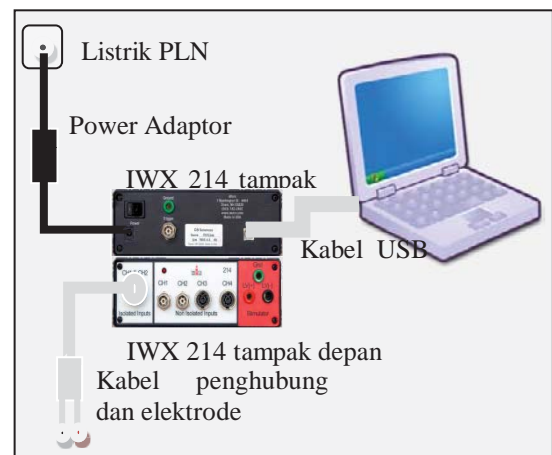
Alur penelitian



Gambar 3 Alur Prosedur Penelitian

Prosedur Pengambilan Data

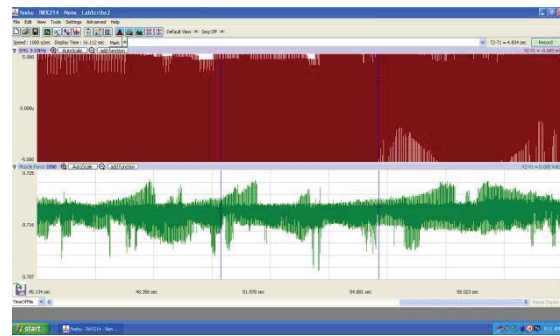
- 1) Persiapan perangkat keras dan perangkat lunak untuk pengukuran dan perekaman profil potensial listrik dengan seting alat seperti pada gambar 3.2.
- 2) Perangkat keras IWX/214 dan komputer dinyalakan kemudian dihubungkan menggunakan kabel USB.
- 3) Pada komputer, buka program Labscribe yang ada di start menu. Kemudian klik menu tools pada program dan klik Find Hardware
- 4) Tempel elektroda pada titik Feishu, Pishu dan Shenshu selama 3 menit (testi normal maupun testi sakit)



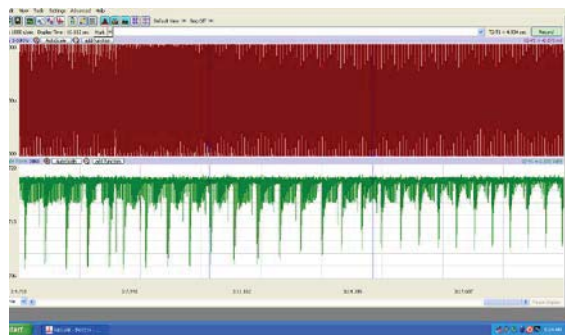
Gambar 4 Seting alat perekaman biopotensial

HASIL

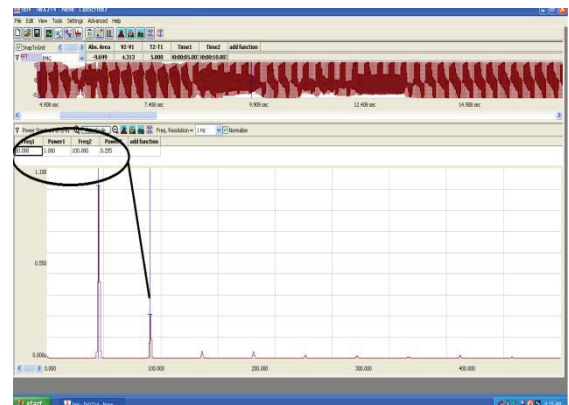
Profil potensial listrik domain waktu dan domain frekuensi



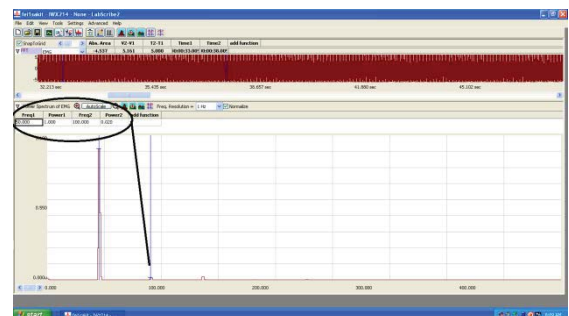
Gambar 5 Profil Potensial Listrik Domain Waktu pada orang sehat. Dengan sumbu absis menyatakan rentang waktu pencuplikan data (ms), dan sumbu ordinat merupakan tegangan sebagai fungsi waktu (V/ms).



Gambar 6 Profil Potensial Listrik Domain Waktu pada penderita asma. Dengan absis menyatakan rentang waktu pencuplikan data (ms), dan ordinat merupakan tegangan sebagai fungsi waktu (V/ms)



Gambar 7 Profil Potensial Listrik Domain Frekuensi pada Orang Sehat. Dengan absis menyatakan frekuensi-frekuensi yang muncul (Hz), dan ordinat menyatakan amplitudo sebagai fungsi frekuensi (Volt/ms)



Gambar 8 Profil Potensial Listrik Domain Frekuensi pada penderita asma. Dengan absis menyatakan frekuensi-frekuensi yang muncul (Hz), dan ordinat menyatakan amplitudo sebagai fungsi frekuensi (Volt/ms).

Uji Beda Rata-Rata Amplitudo Tiap Kelompok Frekuensi pada Profil Potensial Listrik Titik Akupuntur Domain Frekuensi Testi Sehat dan Testi Asma

Ringkasan Hasil Uji T Sampel Bebas SPSS

Frekuensi (Hz)	Titik	Rata-Rata Amplitudo (Vs)		Nilai Signifikasi	Keterangan
		Testi Sehat	Testi Asma		
0-5	Feishu	0.026	0.014	0.53	Tidak Ada Beda
	Phishu	0.03	0.027	0.856	Tidak Ada Beda
	Shenshu	0.261	0.022	0.001	Ada Beda
98-102	Feishu	0.384	0.288	0.527	Tidak Ada Beda
	Phishu	0.541	0.494	0.771	Tidak Ada Beda
	Shenshu	0.486	0.491	0.979	Tidak Ada Beda
148-152	Feishu	0.062	0.106	0.221	Tidak Ada Beda
	Phishu	0.196	0.053	0.01	Ada Beda
	Shenshu	0.045	0.065	0.506	Tidak Ada Beda
198-202	Feishu	0.175	0.045	0.004	Ada Beda
	Phishu	0.107	0.05	0.011	Ada Beda
	Shenshu	0.043	0.081	0.167	Tidak Ada Beda
248-252	Feishu	0.111	0.048	0.108	Tidak Ada Beda
	Phishu	0.022	0.027	0.452	Tidak Ada Beda
	Shenshu	0.025	0.028	0.771	Tidak Ada Beda

298-302	Feishu	0.025	0.027	0.783	Tidak Ada Beda
	Phishu	0.024	0.023	0.956	Tidak Ada Beda
	Shenshu	0.016	0.024	0.418	Tidak Ada Beda
348-352	Feishu	0.069	0.024	0.004	Ada Beda
	Phishu	0.025	0.014	0.082	Tidak Ada Beda
	Shenshu	0.075	0.038	0.004	Ada Beda
398-402	Feishu	0.016	0.02	0.595	Tidak Ada Beda
	Phishu	0.026	0.005	0.009	Ada Beda
	Shenshu	0.013	0.026	0.389	Tidak Ada Beda

1. Terdapat perbedaan signifikan pada kelompok frekuensi 0-5 Hz dengan $p=0,001$ pada titik Shenshu, 148-152 Hz dengan $p=0,010$ pada titik Phishu, 198-203 Hz dengan $p=0,004$ pada titik Feishu sedangkan nilai $p=0,011$ pada titik Phishu, 348-352 Hz pada titik Feishu dan Shenshu keduanya memiliki nilai p yang sama yaitu $p=0,004$ dan 398-402 Hz dengan $p=0,009$ pada titik Phishu.
2. Tidak terdapat perbedaan signifikan pada frekuensi lainnya dan pada titik akupunktur lainnya.

PEMBAHASAN

Perekaman profil potensial listrik pada titik akupunktur dilakukan agar dapat memperlihatkan fungsi kerja organ berdasarkan profil kelistrikan. Dengan diperolehnya hasil profil kelistrikan yang berbeda pada kondisi sehat dan asma, nantinya diharapkan dapat memperlihatkan kondisi organ untuk keperluan diagnosis yang lebih jauh berdasarkan profil kelistrikan dari titik akupunktur yang menuju organ maupun untuk keperluan terapi yang spesifik menuju organ yang terganggu fungsinya.

Profil potensial listrik pada titik akupunktur dihasilkan dari perekaman potensial listrik pada titik-titik akupunktur Feishu (BL 13) terkait organ paru, Pishu (BL 20) terkait organ limpa, dan Shenshu (BL 23) terkait dengan organ ginjal selama 180 detik. Aktivitas kelistrikan organ melalui titik akupunktur dapat dijadikan sebagai informasi untuk diagnosis adanya ketidaknormalan kerja organ. Organ paru menitik beratkan pada ginjal dan limpa. Ketiga titik akupunktur yang dipilih merupakan titik-titik akupunktur yang berada dalam satu meridian dengan organ limpa dekat pankreas yaitu meridian kandung kemih (Shu Belakang).

Profil potensial listrik merupakan grafik tegangan sebagai fungsi waktu yang merepresentasikan aktivitas kelistrikan organ yang berubah-ubah setiap waktu. Bila profil potensial fungsi waktu pada kelompok orang sehat hendak dibandingkan terhadap kelompok penderita orang sakit, terdapat kesulitan dalam menentukan parameter sebagai kriteria pembandingan dikarenakan ketidakadanya keseragaman pola pada masing-masing kelompok. Beda potensial yang dialirkan dari titik akupunktur merupakan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan organ. Gelombang ini merupakan kombinasi dari beberapa gelombang harmonis yang berbeda frekuensi yang berlangsung secara serempak. Orang sehat yang direkam potensial listriknya digolongkan ke dalam kelompok sehat dengan kode testi n1 sampai n10. Sedangkan penderita asma yang direkam potensial listriknya digolongkan ke dalam kelompok sakit dengan kode testi s1 sampai s10.

Profil potensial listrik domain waktu pada titik akupunktur belum dapat dibedakan secara langsung sehingga diperlukan analisis sinyal untuk dapat membedakan keduanya. Oleh karena itu, diperlukan analisis FFT (*Fast Fourier Transform*) pada perangkat lunak Labscope untuk mengubah profil potensial listrik domain waktu menjadi profil potensial listrik domain frekuensi. Gelombang fungsi waktu sebagai kombinasi linier, dapat diuraikan dari frekuensi-frekuensi dasar penyusunnya melalui analisis FFT. Data yang dihasilkan dari tampilan spektrum FFT merupakan bingkai-bingkai spektrum yang dicuplik dalam selang waktu tertentu. Dalam penelitian ini dihasilkan 20 bingkai spektrum dengan pencuplikan setiap 5 detik. Dengan menggunakan dua kursor yang disediakan oleh jendela spektrum FFT, puncak-puncak spektrum FFT yang dihasilkan dapat dilihat frekuensi dan amplitudonya dalam sebuah baris yang ditampilkan di bawah menu toolbar. Data yang dimasukkan ke dalam tabel adalah kelompok frekuensi dominan muncul dengan masing-masing amplitudonya.

Dalam penelitian ini, untuk menganalisis profil potensial listrik domain waktu pada titik akupunktur digunakan analisis FFT (*Fast Fourier Transform*). Analisis FFT merupakan sebuah metode analisis sinyal yang menggunakan perangkat lunak yang didesain untuk dapat mentransformasikan sinyal yang merupakan fungsi waktu ke dalam fungsi frekuensi. Profil potensial listrik merupakan superposisi dari gelombang-gelombang yang tersusun dari frekuensi-frekuensi penyusunnya. Superposisi gelombang dinyatakan dalam fungsi $f(t)$ deret Fourier pada Bab II. Deret Fourier pada sinyal yang periodik dinyatakan dengan bentuk sinusoidal. Komponen karakteristik penyusun bentuk Fourier gelombang tersebut adalah frekuensi-frekuensi penyusunnya dan koefisien-koefisien lainnya (a_0 , a_n , dan b_n). Profil potensial listrik yang diperoleh merupakan sinyal yang tidak periodik namun kontinu yang fungsi waktu gelombangnya belum dapat diketahui. Untuk menganalisis sinyal ini menggunakan metode analisis Fourier, sinyal yang tidak periodik ini dapat dibuat menjadi periodik dengan periode mulai dari $-\infty$ sampai

∞. Dengan menggunakan analisis Fourier, khususnya FFT, sinyal yang diperoleh ditransformasikan ke dalam bentuk fungsi frekuensi. Berdasarkan fungsi frekuensi yang diperoleh, akan dapat diketahui frekuensi mana saja yang merupakan frekuensi penyusun fungsi gelombang tersebut pada sumbu absis. Amplitudo yang tampak pada sumbu ordinat merupakan fungsi frekuensi $f(\omega)$ yang dihasilkan dari transformasi Fourier. Amplitudo yang diperoleh bernilai mulai dari 0 sampai 1. Hal ini dikarenakan fungsi frekuensi $f(\omega)$ yang dihasilkan dari transformasi Fourier haruslah ternormalisasi.

Setelah menganalisis sinyal menggunakan analisis FFT, yang perlu dilakukan adalah mencatat frekuensi dan amplitudo dari setiap bingkai spektrum. Pencatatan frekuensi dan amplitudo dilakukan dengan mengarahkan kursor berwarna biru pada ke setiap puncak pada spektrum FFT. Dengan meletakkan kursor pada titik puncak spektrum FFT, di bawah ikon-ikon toolbar terdapat informasi frekuensi dan amplitudo pada titik puncak tersebut. Dari serangkaian waktu perekaman profil potensial dilakukan pencuplikan setiap 5 detik. Jumlah bingkai yang dicuplik adalah 20 bingkai spektrum dengan kelompok frekuensi yang muncul adalah pada titik 0-5 Hz, 50 Hz, 98-102 Hz, 148-152 Hz, 198-202 Hz, 248-252 Hz, 298-302 Hz, 348-352 Hz dan 398-402 Hz dengan amplitudo mulai dari 0 sampai dengan 1. Frekuensi 50 Hz tertutupi dengan frekuensi dari PLN yang amplitudonya sangat tinggi yaitu sama dengan 1, sehingga dianggap sebagai noise atau derau yang tidak dapat dihindari. Dengan fenomena yang demikian, maka frekuensi 50 Hz tidak dimasukkan ke dalam data pengamatan karena nilainya yang selalu sama pada setiap testi dan semua titik untuk orang sehat maupun penderita asma. Kelompok frekuensi ini merupakan kelompok frekuensi yang muncul pada bingkai spektrum FFT. Berdasarkan data yang tercatat terdapat ketidakseragaman jika dicermati secara langsung. Amplitudo yang tercatat pada setiap kelompok frekuensi pada setiap bingkai spektrum FFT menunjukkan ketidakseragaman. Namun dari data tersebut terlihat adanya kecenderungan kemiripan, sehingga ketidakseragaman yang terlihat dalam orde kecil tidak terlalu signifikan.

Dari hasil perhitungan rata-rata amplitudo masing-masing kelompok frekuensi pada masing-masing kelompok sehat dan sakit merupakan data dengan skala rasio, sehingga uji beda dilakukan dengan Uji T sampel bebas menggunakan perangkat lunak SPSS 13.0 for Windows. Sebelum dilakukan uji T sampel bebas, data diuji kenormalitasannya menggunakan uji non parametrik Kolmogorov-Smirnov. Data yang diuji diperoleh hasil terdistribusi normal, selanjutnya dilakukan uji T sampel bebas. Dalam serangkaian uji T sampel bebas, terdapat uji homogenitas data dengan uji Levenue. Dengan menggunakan aturan pengambilan keputusan dari uji T sampel bebas, yaitu nilai p yang dihasilkan lebih kecil dari 0,05, maka dapat diambil kesimpulan bahwa antara kedua kondisi terdapat perbedaan yang signifikan. Dari data hasil pengkonversian data spektrum FFT ke dalam tabel, hasil amplitudo dari 20 pencuplikan bingkai dirata-rata kemudian dimasukkan ke dalam variabel

data pada perangkat lunak SPSS. Data-data yang dianalisis menggunakan SPSS ditampilkan pada Lampiran .

Hasil uji beda dengan menggunakan perangkat lunak SPSS pada Lampiran. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan hasil analisis profil potensial listrik pada titik akupunktur untuk kondisi sehat dan asma, yaitu pada frekuensi 0-5 Hz pada titik Shenshu, frekuensi 148-152 Hz pada titik Phishu, 198-202 Hz pada titik Feishu dan titik Phishu, frekuensi 348-352 Hz pada titik Feishu dan titik Shenshu sedangkan terakhir pada frekuensi 398-402 dititik Phishu. Pada frekuensi dan titik akupunktur yang lain tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hasil dibandingkan berdasarkan tiap frekuensi pada masing-masing titik akupunktur pengamatan. Dari hasil uji beda, didapatkan hasil bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara profil potensial listrik pada titik akupunktur untuk orang yang kondisinya sehat dengan orang yang kondisinya menderita asma.

Pada penelitian ini, frekuensi yang dianalisis menggunakan uji statistik hanya pada frekuensi yang dominan yaitu pada frekuensi yang kemunculannya kuat dan dapat mempengaruhi bentuk dari sinyal awal yang belum dianalisis menggunakan analisis FFT. Jika ada kemunculan yang tidak begitu kuat berarti merupakan suatu noise. Perangkat lunak perekam biopotensial yang telah diatur secara otomatis sebagai perekam sinyal EMG. Sinyal EMG yang dihasilkan berorde hingga mikrovolt, sehingga diperlukan penguatan agar dapat diperlihatkan pada layar komputer. Sinyal EMG dari permukaan tubuh yang direkam berasal dari beda potensial yang terjadi antara dua elektrode yang dipasang pada titik akupunktur secara lateral sebagai pintu masuk dan keluarnya energi yang memiliki arah positif dan negatif. Antara titik akupunktur dan kelistrikkannya pada organ dihubungkan oleh meridian sebagai jalur aliran energi. Sehingga organ diamati kelistrikkannya melewati meridian menuju titik akupunktur. Perekaman sinyal EMG menggunakan perangkat Iworx yang dapat melakukan penguatan 1000 kali dari sinyal masukannya sehingga dapat teramati pada layar komputer. Sehingga belum dapat dijadikan sebagai metode analisis profil potensial listrik untuk diagnosis asma karena dalam hasil yang didapatkan ada kecenderungan muncul noise mungkin disebabkan oleh elektrode yang digunakan merupakan metode *non-invasive* sehingga sangat mudah terjadi gangguan. Contohnya gangguan dari sumber radiasi seperti transmisi, ketidakstabilan sinyal yang bersifat inheren (sinyal EMG memiliki sifat random), ketidakstabilan penempatan selama perekaman atau masuknya sinyal dari komponen tubuh lain didekat penempatan elektrode yang terkena rangsang listrik kecil sehingga mengganggu sinyal dari target yang ingin dideteksi.

Dengan menggunakan transformasi Fourier, sinyal dalam fungsi waktu yang sebelumnya tidak dapat dibedakan kini dapat terlihat perbedaannya yang nyata secara statistik. Kecenderungan yang timbul pada profil potensial listrik untuk kondisi sehat dengan kondisi asma adalah amplitudo yang dihasilkan cenderung lebih tinggi pada kondisi asma. Hal ini

menunjukkan bahwa metode pengolahan sinyal untuk persiapan data sangat diperlukan untuk mengetahui perbedaan profil potensial listrik yang sebelumnya merupakan fungsi waktu. Dengan dapat terbedakannya profil potensial listrik pada titik akupunktur untuk kondisi orang sehat dengan kondisi orang sakit, maka metode analisis ini dapat dijadikan sebagai metode diagnosis untuk penyakit asma.

Faktor-faktor yang menyebabkan tidak ditemukannya perbedaan signifikan pada titik-titik akupunktur yang lain dan frekuensi yang lain karena profil kesehatan dari testi yang tidak homogen serta terdapatnya kemungkinan adanya arus listrik yang bukan berasal dari organ yang ditransmisikan oleh elektrode. Profil potensial listrik yang terekam merupakan profil potensial untuk keadaan pada waktu tertentu saat perekaman. Keadaan testi yang tidak homogen akibat faktor psikologis maupun fisik menyebabkan perubahan profil potensial listrik secara seketika. Penentuan letak elektrode pada titik akupunktur yang kurang tepat atau terjadinya pergeseran elektrode juga dapat menjadi salah satu penyebab hilangnya sinyal yang harusnya terekam. Pola profil potensial listrik fungsi frekuensi pada testi sehat terdapat kecenderungan frekuensi dominannya memiliki amplitudo yang lebih kecil dibandingkan dengan pada testi sakit. Frekuensi yang muncul merupakan representasi dari aktivitas kelistrikan organ. Perbedaan ini dapat disebabkan karena adanya kecenderungan perubahan aktivitas listrik pada orang sakit dan orang sehat, dimana organ pada orang sakit lebih banyak melakukan aktivitas untuk menyeimbangkan kondisi tubuh.

Energi yang berlebihan ini dapat dianggap sebagai sinyal yang dipancarkan oleh organ tersebut. Dari hasil penelitian, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada titik Shenshu (terkait organ ginjal) di frekuensi rendah yaitu 0-5 Hz, sedangkan di frekuensi tinggi yaitu 198-202 Hz, namun nilai signifikannya rendah pada titik Phishu.

Pada penelitian ini belum dapat diketahui penyebab secara pasti alasan dari timbulnya kecenderungan tersebut. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut dan lebih serius dengan melibatkan pakar di bidang kedokteran konvensional maupun kedokteran akupunktur untuk menelusuri hal-hal yang terjadi pada organ-organ yang diamati dari penelitian ini. Namun yang dapat dicermati adalah organ-organ yang terhubung pada titik-titik akupunktur ini merupakan organ-organ yang rentan terganggu atau rentan terjadi asma.

UCAPAN TERIMAKASIH

Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya sebagai tempat maupun penyedia fasilitas penelitian. Pukesmas Kalijudan sebagai tempat pemeriksaan testi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsagaff, Hood; Amin, Muhammad; Saleh, WBM Taib, 1989, *Pengantar Ilmu Penyakit Paru*, Penerbit : Airlangga University Press.
- Ashari dan Santosa, B. P., 2005, *Analisis Statistik dengan Microsoft Excell & SPSS*, Penerbit ANDI, Yogyakarta
- Boas, Mary L., 1983, *Mathematical Methods in the Physical Sciences Second Edition*, John Wiley & Son, Inc, Canada
- Erawati, P., Astuti, S. D., dan Prijo, T. A., 2003, *Analisis Profil Potensial Untuk Kelainan Fungsional Organ*, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga, Surabaya
- Cameron, J.R., 1978, *Fisika Tubuh Manusia*, Diterjemahkan Oleh Brahm U. Pendit, Edisi 2, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta
- Carlo J, Deluca, 1976, *The use of Surface EMG in Biomechanics*,
- Saputra, K., Idayanti, A., 2005, *Akupunktur Dasar*, Airlangga University Press, Surabaya
- Widhiarso, Wahyu, *Cara Membaca SPSS*, Fakultas Psikologi UGM, Yogyakarta
- Wijayanto, Y. Nur. dan Hastuti, D., 2006, Rangkaian Bioamplifier untuk Mendeteksi Sifat Elektris Otot, *Jurnal Elektronika No. 2 Juli-Desember 2006, Volume 6*

B

BIDANG KAJIAN
FISIKA
INSTRUMENTASI

PANTAUAN TERHADAP PERGERAKAN FLUIDA BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GEOLISTRIK ANTAR WAKTU

Teguh Ardianto¹, Suhayat Minardi², Alfina Taurida Alaydrus³

^{1,2,3} Program Studi Fisika Universitas Mataram

Email : tardianto@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian menggunakan metoda geolistrik antar waktu di Kebun Buncit, Kecamatan Lembar, Kabupaten Lombok Barat. Penelitian ini bertujuan untuk memantau pergerakan fluida bawah permukaan dengan tampilan pseudo geolistrik 3 dimensi. Pengukuran dilakukan pada lintasan yang sama sebanyak 3 kali yaitu bulan September 2013, Desember 2013, dan Juni 2014, dengan seperangkat alat Resistivitimeter G-Sound (GL-4100) dan sebanyak 3 lintasan yang panjangnya masing-masing sekitar 300 meter dengan arah sejajar garis pantai. Pengolahan data dilakukan dengan pemodelan inversi dengan perangkat lunak Res2dinv dan visualisasi 3D dengan Rockwork versi 15. Dari hasil visualisasi dan interpretasi data geolistrik antar waktu berhasil dipantau adanya pergerakan fluida bawah permukaan termasuk adanya intrusi air laut, kecepatan pergerakan fluida, dan pengaruh musim terhadap pergerakan fluida bawah permukaan.

Kata kunci: antar waktu, geolistrik, kecepatan, pergerakan fluida, pengaruh musim

PENDAHULUAN

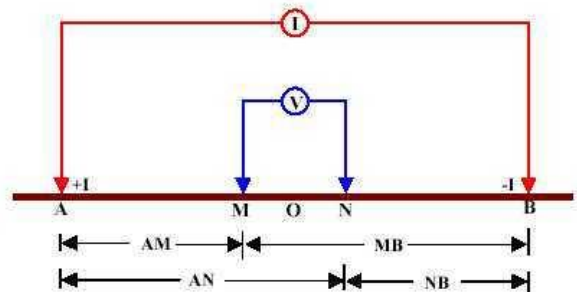
Dinamika fluida khususnya pergerakan air bawah permukaan adalah fenomena yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Pergerakan air bawah tanah tersebut dapat memberikan keuntungan dan kerugian untuk kehidupan manusia. Contoh dampak yang merugikan tersebut adalah intrusi air laut, yaitu proses masuknya air laut menggantikan air tawar dinamakan intrusi air laut. Intrusi air laut tersebut mengakibatkan air tanah mempunyai kadar garam yang cukup tinggi (Notodarmojo, 2005).

Akibat tercampurnya air tawar oleh air laut akan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat fisis dan kimia batuan penampungnya. Perubahan sifat kimia tersebut akibat air asin mempunyai kadar kegarahan atau salinitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan air tawar. Kandungan unsur Cl^- yang tinggi umumnya didapati pada air laut. Manifestasi tingkat kegarahan biasanya dinyatakan dengan nilai total kandungan zat terlarut (*total dissolved solids -TDS*). Air tanah tawar mempunyai TDS kurang dari 1000 mg/l. Sementara air tanah yang sudah tercampur dengan air asin atau air laut TDS-nya lebih dari 1000 mg/l (Octonovrilna dan Pudja, 2009).

Perubahan sifat fisis itu adalah terjadinya perubahan daya hantar listrik, yaitu nilai konduktivitasnya makin besar karena air asin/air laut bersifat lebih elektrolit daripada air tawar. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah memonitor terjadinya dinamika fluida bawah permukaan akibat perubahan yang terjadi di permukaan, seperti musim, dengan berbagi aspek yang menyertainya seperti: persebaran perubahan resistivitasnya, kecepatannya, dan kualitas airnya akibat terjadinya intrusi air laut.

Metode yang sesuai untuk memantau fenomena di atas adalah metode geolistrik tahanan jenis. Metode tahanan jenis adalah metode yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan bagaimana mendeteksinya di permukaan bumi. Metode ini melibatkan pengukuran potensial dan arus akibat injeksi arus ke dalam bumi. Beda potensial diantara kedua

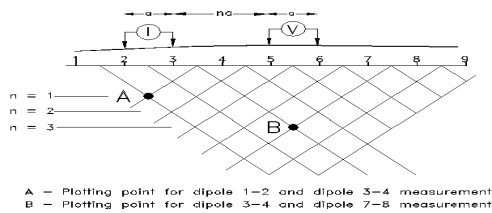
elektroda tersebut selain tergantung pada besarnya arus yang diinjeksikan, juga tergantung pada letak kedua elektroda potensial tersebut terhadap letak kedua elektroda arus yang dipakai (Gambar 1). Dalam hal ini juga pengaruh sifat-sifat batuan yang melewati arus listrik tersebut. Hal ini menjadi penting karena tujuan dari pengukuran geolistrik ini adalah mempelajari sifat listrik batuan tersebut. Dengan demikian keberadaan batubara dapat diidentifikasi dengan metode geolistrik. Pada metode geolistrik ini akan didapat suatu nilai resistivitas batuan (ρ) yang akan menunjukkan jenis batuan yang diamati (Hendrajaya dan Idham, 1998).



Gambar 1 Pasangan elektroda arus dan potensial yang umum digunakan dalam survei resistivitas (modifikasi dari Reynolds, 1997).

Metode geolistrik tahanan jenis 2-D merupakan gabungan dari metode mapping dan sounding yang dihasilkan penampang tahanan jenis pada arah mendatar dan arah vertikal (penampang 2-D). Konfigurasi elektroda yang dapat digunakan pada metode ini meliputi konfigurasi Wenner (Alpha, Beta dan Gamma), Dipole-dipole, Pole-dipole, Pole-pole, Equatorial dipole dan Wenner-Schlumberger (Loke, 1999). Bentuk rangkaian dan susunan elektroda dalam pengukuran geolistrik tahanan jenis 2-D adalah seperti Gambar 2.

Konfigurasi yang dipergunakan adalah konfigurasi Wenner. Susunan/konfigurasi wenner menempatkan elektroda arus dan elektroda potensial mempunyai jarak yang sama, yaitu: $C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = a$, atau jarak elektroda arus tiga kali jarak elektroda potensial, seperti pada Gambar 1.



Gambar 2. Susunan elektroda dan urutan pengukuran geolistrik tahanan jenis 2-D untuk menghasilkan pseudo-section (Loke, 1999)

Jika $AM = r_1$, $MB = r_2$, $AN = r_3$ dan $NB = r_4$, maka beda potensial antara P1 dan P2 (Telford dkk., 1990).

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}$$

atau

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}}$$

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}$$

Dengan

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}}$$

adalah factor geometri yang nilainya bergantung pada konfigurasi dan jarak antar elektrodanya. Gambar 2 memperlihatkan urutan pengukuran dengan konfigurasi Wenner. Untuk konfigurasi Wenner faktor geometrinya adalah:

$$K = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} \right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a} \right) \right\}^{-1}$$

$$K = 2\pi \left\{ \frac{2}{2a} \right\}^{-1}$$

$$K = 2\pi a$$

Untuk memantau pergerakan fluida bawah permukaan, maka diperlukan pengukuran berulang pada satu titik atau lintasan yang sama dengan selang waktu tertentu, yang dinamakan metode antar waktu (*time lapse*). Johnson dkk. (2004) menggunakan metode *time lapse resistivity* untuk kegiatan monitoring. Penggunaan teknologi geolistrik antar waktu antara lain dilakukan oleh Wilkinson dkk. (2011) untuk memonitor aktivitas hidrogeologi sebagai tanda-tanda awal (*precursor*) pergerakan tanah (longsor) di Situs longsor dekat Malton, North Yorkshire, Inggris.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pergerakan air bawah tanah berdasarkan perubahan nilai tahanan jenis dari waktu ke waktu. Pergerakan fluida bawah permukaan tersebut meliputi, pendeteksian terjadinya intrusi airlaut, penentuan kecepatan pergerakan fluida, dan pengaruh musim terhadap pergerakan fluida tersebut

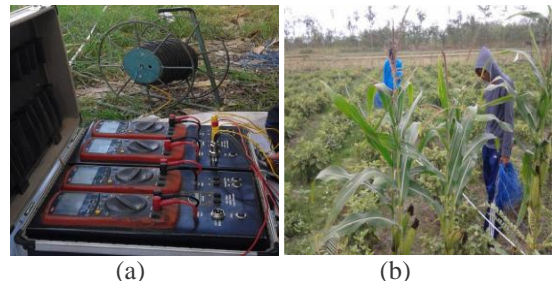
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Dusun Kebun Buncit, Desa Lembar, Kecamatan Lembar, Kabupaten Lombok Barat, seperti pada Gambar 3 berikut:



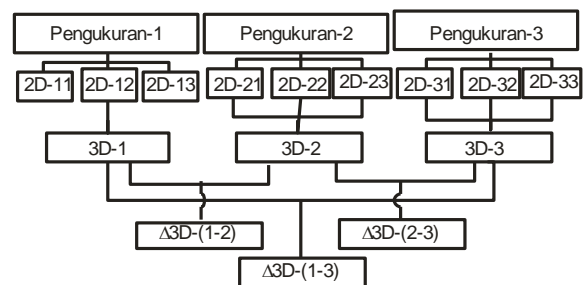
Gambar 3 Lokasi penelitian

Pengukuran dilakukan pada 3 (tiga) lintasan yang mempunyai arah relatif Utara – Selatan dan sejajar garis pantai. Lintasan-lintasan tersebut dibuat sejajar dengan posisi masing-masing 08°41'19.9''S; 116°04'13.8''E untuk Lintasan-1, 08°41'20.0''S; 116°04'18.2''E Lintasan-2, dan 08°41'28.3''S; 116°04'12.2''E Lintasan-3 dengan panjang sekitar 300 meter. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Resistivimeter GSound GL4100 beserta asesorisnya (Gambar 4a) dan perangkat lunak Res2Dinv, Microsoft Excel, dan Rockwork.



Gambar 4(a) Resistivimeter GSound GL4100; (b) lokasi dan proses pemasangan elektroda

Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali, yaitu: Bulan September 2013, Desember 2013, dan Juni 2014. Tahapan penelitian seperti tergambar dalam diagram berikut :



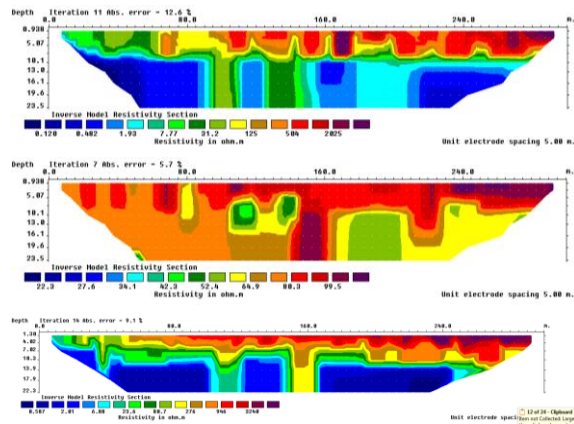
Gambar 5 Tahapan penelitian

DISKUSI

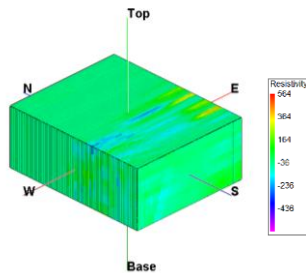
Hasil pengukuran geolistrik yang berupa data arus dan beda tegangan diolah dan dimodelkan untuk distribusi resistivitas (tahanan jenis) bawah permukaan pada arah vertical dan horizontal (2D). Pengukuran tersebut diulang sebanyak 3 kali pada lintasan yang sama dengan selang waktu tertentu untuk mengetahui perubahan resistivitas pada suatu titik. Hasil pemodelan 2D pada lintasan-3 untuk 3 periode pengukuran dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil digitisasi model 2D sebaran tahanan jenis kemudian digunakan untuk menghitung perubahan nilai tahanan jenis pada satu titik selama selang masing-

masing periode pengukuran. Data setiap titik pada setiap kedalaman diplot sehingga menghasilkan gambaran 3D semu (*pseudo 3D imaging*). Gambar 3D semu perubahan nilai tahanan jenis selama periode September hingga Desember 2013 ditampilkan dalam Gambar 7.

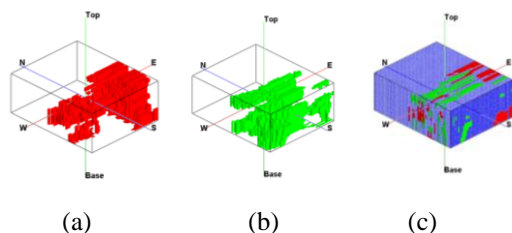


Gambar 6 Hasil pemodelan resistivitas 2D lintasan-3 dari hasil 3 kali pengukuran berulang (pengukuran-1 sampai pengukuran-3)



Gambar 7 Tampilan *pseudosection* 3D perubahan resistivitas selama periode September 2013 hingga Desember 2013

Selama periode September 2013 hingga Desember 2013 di daerah penelitian telah terjadi perubahan berkisar $-436 \Omega\text{m}$ hingga $564 \Omega\text{m}$. Ini berarti pada daerah penelitian terdapat 3 zona perubahan tahanan jenis, yaitu perubahan yang bernilai positif, negatif, dan zona yang nilai tahanan jenisnya tidak berubah. Untuk periode September 2013 hingga Desember 2013, pembagian zona-nya seperti pada Gambar 8.

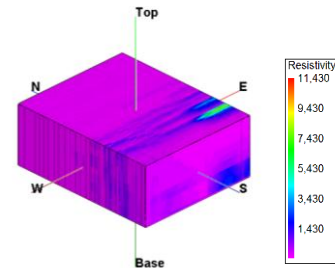


Gambar 8 Tampilan *pseudosection* 3D perubahan resistivitas selama periode September 2013 hingga Desember 2013 (a) bernilai positif; (b) negatif; (c) gabungan positif, negatif, dan tidak ada perubahan

Jika diasumsikan ketidakpastian hasil pengukuran adalah 10%, maka perubahan sebesar $(-50 \text{ sampai } 50) \Omega\text{m}$ dianggap tidak mengalami perubahan, perubahan positif berkisar $(50 \text{ sampai } 563) \Omega\text{m}$ (Gambar 8a), dan perubahan negatif berkisar $(-436 \text{ sampai } -50) \Omega\text{m}$ (Gambar 8b). Volume fluida yang mengakibatkan

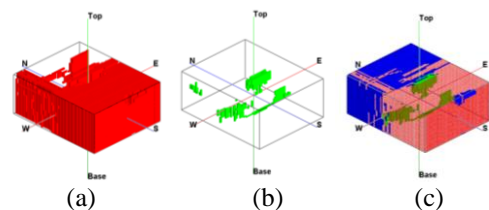
perubahan tahanan jenis positif adalah 174.050 m^3 (9,86%), yang mengakibatkan perubahan tahanan jenis negatif adalah 142.900 m^3 (8,10%), dan sisanya sebanyak 82,04% tidak mengalami perubahan.

Hasil pemodelan perubahan tahanan jenis 3D semu untuk periode pengukuran Desember 2013 hingga Juni 2014 ditampilkan pada Gambar 9. Perubahan nilai tahanan jenis pada periode tersebut berkisar antara $-107 \Omega\text{m}$ hingga $11.430 \Omega\text{m}$.



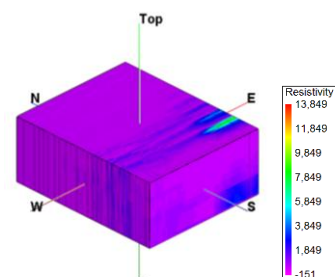
Gambar 9 Tampilan *pseudosection* 3D perubahan resistivitas selama periode Desember 2013 hingga Juni 2014

Pembagian zona/fraksi perubahan tahanan jenis untuk periode Desember 2013 hingga Juni 2014 ditampilkan pada Gambar 10. Dengan asumsi yang sama dengan periode pengukuran sebelumnya, maka perubahan positif terjadi sebesar 60% ($1.058.525 \text{ m}^3$), perubahan negatif sebesar 0,77% (13.65 m^3), dan 29,23% tidak mengalami perubahan.



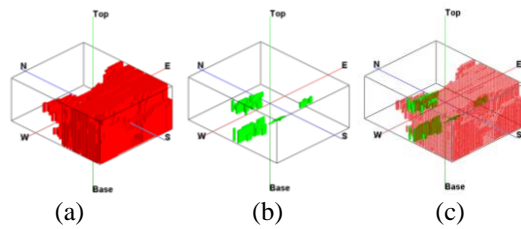
Gambar 10 Tampilan *pseudosection* 3D perubahan resistivitas selama periode Desember 2013 hingga Juni 2014 (a) bernilai positif; (b) negatif; (c) gabungan positif, negatif, dan tidak ada perubahan

Perubahan tahanan jenis untuk periode September 2013 hingga Juni 2014, berkisar antara $(-151 \text{ hingga } 13.349) \Omega\text{m}$. Hasil perhitungan pada periode ini adalah merupakan akumulasi dari perhitungan pada periode sebelumnya. Hasil pemodelan perubahan tahanan jenis pada periode September 2013 hingga Juni 2014 diperlihatkan pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11 Tampilan *pseudosection* 3D perubahan resistivitas selama periode September 2013 hingga Juni 2014

Adapun pembagian perubahan tahanan jenis untuk periode September 2013 hingga Juni 2014 disajikan pada Gambar 12. Perubahan tahanan jenis positif adalah sebanyak 38,64% (681.687 m^3), negatif sebanyak 0,7% (12.100 m^3), dan yang tetap 60,67% ($1.070.213 \text{ m}^3$)



Gambar 12 Tampilan *pseudosection* 3D perubahan resistivitas selama periode September 2013 hingga Juni 2014 (a) bernilai positif; (b) negatif; (c) gabungan positif, negatif, dan tidak ada perubahan

Dinamika fluida bawah permukaan terpengaruh musim dan jenis batuan dibawah permukaan. Pengaruh jenis lapisan batuan terhadap dinamika fluida dapat dilihat dari perubahan nilai tahanan jenis yang cenderung relative dominan terjadi di bagian Selatan dibandingkan bagian Utara. Analisis pengaruh musim terhadap dinamika fluida bawah permukaan tersaji dalam Tabel 1.

Table 1 Rangkuman terjadinya dinamika fluida bawah permukaan selama selang waktu September 2013 hingga Juni 2014

Periode	lama (bln)	Dinamika fluida (m^3)			Kecepatan (m^3/bln)
		Positif	Negatif	Tetap	
9/13 – 12/13	3	174050	142900	1447050	105650
12/13 – 6/14	6	1085525	13650	664825	183196
9/13 – 6/14	9	681687	12100	1070213	77087

Pada periode September 2013 hingga Desember 2013, dimana terjadi pergantian musim dari musim kemarau ke musim penghujan, perubahan tahanan jenis negatif dan positif hampir seimbang. Perubahan negatif ini diperkirakan akibat terjadi penambahan air dari permukaan sehingga lahan yang tadinya kering menjadi lebih konduktif karena naiknya kadar air. Banyaknya fluida yang bergerak selama periode tersebut adalah 316.950 m^3 atau kecepatan dinamika fluida $105.650 \text{ m}^3/\text{bln}$.

Pada perubahan dari musim penghujan ke musim kemarau (periode Desember 2013 sampai Juni 2014), perubahan tahanan jenis didominasi oleh perubahan yang bernilai positif (60%). Hal ini menunjukkan bahwa fluida (air) yang ada di daerah penelitian akan semakin berkurang selama periode tersebut. Tanah-tanah yang mengandung air akan menjadi kering dan bersifat relative lebih resistif. Pengurangan fluida juga lebih cepat dibandingkan pada periode sebelumnya yakni sebesar $183.196 \text{ m}^3/\text{bln}$.

Pada periode September 2013 hingga Juni 2014 perubahan tahanan jenis positif lebih besar daripada perubahan negatifnya. Pengukuran geolistrik ini dilakukan pada musim yang sama yaitu musim kemarau. Perubahan tahanan jenis positif menunjukkan bahwa jumlah fluida pada bulan Juni 2014 lebih sedikit

dibandingkan September 2013. Kecepatan dinamika fluida pada periode musim yang sama ini juga paling rendah dibandingkan pada periode dimana terjadi pergantian musim.

Fenomena intrusi air laut dengan metode geolistrik tahanan jenis belum dapat diidentifikasi secara pasti. Pada daerah penelitian sering terjadi banjir rob (banjir akibat air laut pasang) sehingga perubahan tahanan jenis negatif terjadi bukan saja akibat air laut yang masuk tetapi juga penambahan air dari permukaan pada saat hujan. Pertambahan air permukaan saat hujan akan meningkatkan konduktivitas tanah yang semula kondisinya relative lebih kering. Tetapi hasil analisis laboratorium terhadap conto air yang diambil dari sumur penduduk menunjukkan adanya perubahan kadar klorida dari waktu ke waktu (Tabel 2). Selama musim penghujan (September 2013 hingga Desember 2013) terjadi peningkatan kadar klorida pada conto air sumur penduduk dan kadar tersebut akan menurun seiring dengan datangnya musim kemarau (Desember 2013 hingga Juni 2014)

Tabel 2 Hasil analisis laboratorium perubahan kadar Cl^- conto air sumur penduduk selama selang waktu September 2013 hingga Juni 2014

No.	Sumur	Kandungan Cl^- (mg/l)		
		Sep 2013	Des 2013	Jun 2014
1	S-1	1,819	430	282,63
2	S-2	0,788	460	54,10

SIMPULAN

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Musim sangat mempengaruhi dinamika fluida bawah permukaan.
2. Kecepatan fluida bergerak, terbesar pada periode Desember 2013 hingga Juni 2014 dimana terjadi pergantian musim penghujan ke musim kemarau.
3. Kadar klorida akan meningkat pada musim penghujan dan menurun pada musim kemarau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat atas pendanaan melalui Dana DIPA Universitas Mataram Tahun Anggaran 2014 dengan kontrak Nomor : 023.04.2.415278/2014 Tanggal 5 Desember 2013

DAFTAR PUSTAKA

- Hendrajaya, L. dan Arif, I., 1998, Geolistrik Tahanan Jenis, Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA, ITB: Bandung
- Johnson, C.D., J.W. Lane, & F.D. Day-Lewis, 2004, *Time-Series Monitoring in Fractured-rock Aquifers*, Proceedings: National Groundwater Association, p.194-307
- Notodarmojo, S, 2005, Pencemaran Tanah Dan Air Tanah, Penerbit ITB, Bandung
- Octonovrilna, Litanya dan I Putu Pudja, 2009, Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan

- Persebaran Intrusi Air Asin (Studi Kasus Jakarta 2006 – 2007), Jurnal Meteorologi Dan Geofisika Volume 10 Nomor 1 Tahun 2009: 39 – 57
- Reynolds J. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Telford, W.M., Sheriff, R.E. & Geldart, L.P. 1990. *Applied Geophysics, 2nd Edition*. Cambridge University Press: Cambridge
- Wilkinson Paul, Jonathan Chambers, Oliver Kuras, Philip Meldrum and David Gunn, 2011, *Long-term time-lapse geoelectrical monitoring*, First Break, 29, 77-84

UJI KONSISTENSI KUALITAS LAMPU TABUNG DENGAN PIRANTI LDR

Fiqhri H M¹, Agus B P², Jaler S M³, Bambang M.E.J.⁴

^{1,2,4}Program Studi Fisika UGM

³Program studi Elektronika dan Instrumentasi UGM

fiqhri.heda.m@ugm.ac.id

agus.budi.prasetya@mail.ugm.ac.id

jalerse@yahoo.com

b.murdaka@ugm.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian guna menguji konsistensi kualitas bohlam tabung beragam merek, yang diambil secara acak, dengan piranti LDR (Light Dependent Resistor). Topik penelitian ini dilatarbelakangi kenyataan bahwa sebagian besar masyarakat yang dahulu menggunakan bohlam pijar, kini beralih menggunakan bohlam TL. Itu terjadi karena pada label bungkus bohlam TL dituliskan nilai watt yang digunakan setara dengan watt pada bohlam pijar yang jauh lebih besar. Artinya, konsumen pada umumnya, memilih bohlam TL karena diyakini lebih hemat listrik. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat memberikan informasi pada khalayak, tentang adanya metode uji mutu baru tentang konsistensi nilai Watt pada sejumlah merek bohlam TL dengan menggunakan piranti LDR. Selain itu, penelitian ini juga ditujukan kepada khalayak untuk dapat menguji kualitas bohlam TL secara mandiri dengan memanfaatkan piranti LDR dengan harga murah dan lebih praktis penggunaannya. Metodologi pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur kuat penerangan beragam merek bohlam TL yang diambil secara acak dipasaran, pada watt yang sama yang dibandingkan dengan bohlam bohlam pijar pada daya (watt) yang lebih besar (sesuai klaim merek kualitas hemat energy bohlam TL terhadap bohlam pijar). Kuat penerangan itu diukur dengan Fotometer (dalam lux) yang kemudian dibandingkan dengan nilai tahanan oleh LDR. Diharapkan, dari hasil penelitian ini dapat membentuk keluaran berupa artikel pada jurnal ilmiah yang selanjutnya dapat diketahui oleh konsumen bohlam TL, dan bahkan dapat digunakan untuk menunjukkan metode pengujian yang secara praktis dan murah.

Kata kunci: kuat penerangan, uji konsistensi, LDR, uji konsistensi, TL

PENDAHULUAN

Dewasa ini telah biasa dijumpai sejumlah penemuan baru dibidang elektronika khususnya bohlam, mulai bohlam neon, pijar, dan kini TL. Perkembangan teknologi perbohlaman berkaitan erat dengan tuntutan global yang menginginkan adanya penghematan energi, termasuk energy listrik. Dalam perkembangannya telah dijumpai sejumlah produk berlabel bohlam hemat energi, contohnya bohlam TL. Saat ini, bohlam TL sangat digemari konsumen, karena diyakini lebih hemat energy listrik bila dibanding bohlam pijar, yang terjadi pada kuat penerangan yang sama. Selain itu harga bohlam TL juga relatif terjangkau. Diperkirakan pasar bohlam TL dapat bertahan hingga tahun 2020, dan kemudian berubah ke bohlam LED.

Permasalahannya adalah sejumlah produk bohlam TL telah mencantumkan spesifikasi pada bungkusnya (Gambar 1.1) yang menyatakan bohlam TL ini (7W) setara dengan bohlam pijar 40W. Benarkah klaim itu? Bagaimana cara menguji konsistensi klaim itu secara mudah dan sederhana dan murah? Jika hal itu dapat dilakukan oleh setiap pemilik toko bohlam listrik, maka pemilik toko dapat memilih pasokan merek produk tertentu saja untuk dijual ditokonya. Selain itu, informasi uji konsistensi itu dapat disampaikan ke produsen ataupun institusi terkait sehingga konsumen tidak dirugikan.

Penyajian label pada salah satu produk bohlam TL diatas menyebutkan konsumsi energy 7W setara dengan 40W bohlam pijar, dan dapat digunakan selama 3 tahun. Bagi masyarakat awam tentunya klaim hemat energi oleh perusahaan-perusahaan bohlam hemat energy akan

sulit diketahui kebenarannya. Bahkan sampai sekarangpun skala hemat energy masih berdasar perbandingan TL terhadap jenis bohlam yang lain. Alat untuk membuktikan klaim perusahaan tersebut sebenarnya sudah ada, dengan menggunakan luxmeter (alatukur intensitas cahaya) namun, alat tersebut dirasa mahal (mencapai orde jutaan rupiah pada luxmeter berkualitas baik), terlalu rumit untuk diterapkan kepada masyarakat, dan hasilnya kurang teliti. Itu terjadi karena sebaran cahaya oleh bohlam (termasuk bohlam TL) permukaannya berupa lengkung (permukaanbola). Padahal permukaan lux meter berupa permukaan datar.



Gambar 1.1 Potret label bohlam TL

Adapun LDR berluas penampang kecil sehingga dapat mengukur kuat penerangan pada kawasan bohlam TL secara lebih homogen. Hal itulah yang melatar belakangi peneliti untuk menemukan metode pengujian konsistensi klaim kualitas bohlam, khususnya bohlam TL (kini banyak beredar di

masyarakat) dengan cara terbaru yang lebih murah dan mudah.

LANDASAN TEORI

Terkait topic penelitian ini, perhatian penulis terhadap karya peneliti lain adalah menyangkut keberadaan intensitas cahaya, daya listrik, bohlam tabung (TL) dan bohlam pijar, serta LDR. Berikut ini penulis paparkan kelima hal tersebut.

Intensitas cahaya bermakna sebagai jumlah energi cahaya yang menembusi luasan secara normal per satuan waktu persatuan luas. Tentu saja intensitas cahaya semakin kecil bila jarak dari bohlam yang menyala semakin jauh. Ini disebabkan oleh semakin luasnya luasan yang diterangi oleh bohlam itu.

Daya adalah ukuran energi per satuan waktu. Oleh karena itu daya memberikan informasi kelajuan konsumsi atau produksi energi. Satuan daya pada umumnya adalah watt (W). Sebagai contoh, jumlah watt yang dimiliki oleh sebuah perangkat menginformasikan tingkat konsumsi energi.

Cara lain untuk menghitung daya (P) pada sebuah rangkaian dengan kuat arus listrik I , dan bertegangan V adalah:

$$P = IV \quad (1)$$

Jika piranti itu memiliki hambatan R , yang sesuai dengan hukum ohm (saat R tetap) maka:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Persamaan (2) disubstitusikan ke persamaan (1) untuk menghilangkan V menjadi:

$$P = I^2 R \quad (3)$$

Bohlam tabung juga dikenal dengan nama **bohlam fluorescent** atau **bohlam neon**. Bohlam ini biasa digunakan untuk ruangan perkantoran, *supermarket*, rumah sakit, pabrik, atau perumahan. Elektroda yang dipasang pada ujung-ujung tabung berupa kawat lilitan pijar dan akan menyala bila dialiri listrik. Bohlam TL (Gambar 2.1) juga disebut dengan bohlam pendar.

Bohlam pendar adalah salah satu jenis bohlam lucutan gas yang menggunakan daya listrik untuk mengeksitasi uap raksa. Uap raksa yang tereksitasi itu menghasilkan gelombang cahaya ultra ungu yang pada gilirannya menyebabkan lapisan fosfor berpendar dan menghasilkan cahaya kasat mata. Bohlam pendar mampu menghasilkan cahaya secara lebih efisien dari pada bohlam pijar.

LDR (Light Dependent Resistor) adalah sebuah transduser berdiameter kecil (sekitar 0,5cm) yang memuat tahanan (Gambar 2.3) dan nilai tahanan sensitif terhadap cahaya. Ketika terdapat cahaya yang jatuh di LDR, maka resistansi atau hambatan perangkat akan menurun. Menurunnya resistansi akan memperbesar arus listrik yang mengalir pada rangkaian. Intensitas cahaya yang jatuh akan berbanding terbalik dengan resistansi yang dihasilkan pada perangkat [3].



Gambar 2.3 Potret sebuah LDR

Hingga sekarang, pengusul belum pernah

menjumpai penelitian yang menguji kekonsistensian kualitas bohlam TL seperti yang tercantum pada label kemasan bohlam tersebut. Konsistensi yang dimaksud berkaitan dengan kuat penerangan bohlam TL yang dihasilkan dan dibandingkan dengan kuat penerangan oleh bohlam pijar, pada konsumsi daya listrik yang tertera pada label pembungkus bohlam TL. Apalagi uji konsistensi ini melibatkan peran LDR, sehingga pengujian bersifat murah dan praktis. Karena itu, penulis meyakini bahwa penelitian ini masih orisinal, dan penulis berani membuat hipotesis.

Terkait pemaparan diatas, hipotesis dari penelitian ini adalah merek bohlam tabung (sebut saja merek A, B, C, D, E) konsistensi kualitasnya disebut sesuai yang diklaim oleh perusahaan (tercantum pada label bungkus produknya) bila lengkung hasil plot pada grafik antar hambatan LDR fungsi daya bohlam tabung masuk zona yang dibatasi oleh plot grafik hambatan LDR sebagai fungsi daya pada bohlam pijar.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan ini mulai dikerjakan pada bulan Februari 2014 sampai dengan Juni 2014. Selanjutnya, penelitian ini telah penulis kerjakan di Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada.

Alat dan Bahan

Penelitian ini melibatkan sejumlah alat dan bahan. Alat yang digunakan adalah: dudukan bohlam, kotak hitam, LDR, multimeter, variac, voltmeter, amperemeter dan lux meter. Dudukan bohlam berperan sebagai tempat bohlam dipasang, kotak hitam sebagai penutup, sedangkan LDR, sebagai alat ukur intensitas cahaya (dalam ohm). Adapun multimeter, sebagai ohmmeter untuk mengukur tahanan LDR, sedangkan variac, sebagai pengatur tegangan bohlam. Selanjutnya, voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan yang dikeluarkan variac, dan amperemeter, sebagai penghitung besarnya kuat arus yang mengalir. Sementara itu lux meter digunakan untuk kalibrasi pembacaan kuat penerangan dengan LDR.

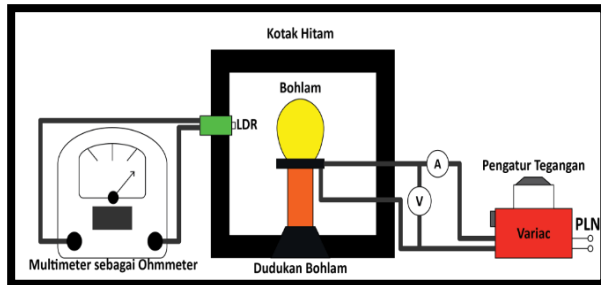
Adapun bahan penelitian yang digunakan pengusul meliputi bohlam TL dan pijar. Bohlam tabung 7 watt yang diklaim intensitas cahayanya setara dengan bohlam pijar 40 watt sebanyak 5 merek yang berbeda (sebut saja merek A, B, C, D, E), sebagai sumber cahaya yang diteliti dan bohlam pijar 20, 40 dan 60 watt, sebagai standar perhitungan kualitas bohlam tabung.

Langkah Eksperimen

Langkah eksperimen pada penelitian ini melibatkan 7 langkah berikut ini.

- Merakit skema eksperimen seperti Gambar 3.1
- Menempatkan bohlam pijar 20 watt pada dudukan bohlam.
- Memvariasi tegangan keluaran variac 20V AC, mencatat tahanan LDR yang terbaca pada ohm meter, dan mencatat kuat arus listrik yang terbaca amperemeter. Melakukan langkah yang sama pada

- tegangan lainnya, berturut-turut 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200V.
- (d) Mengganti bohlam pijar 20W dengan bohlam pijar 40W, dan melakukan kembali langkah (c). Langkah (c) dilakukan pula dengan memanfaatkan bohlam pijar 60W.



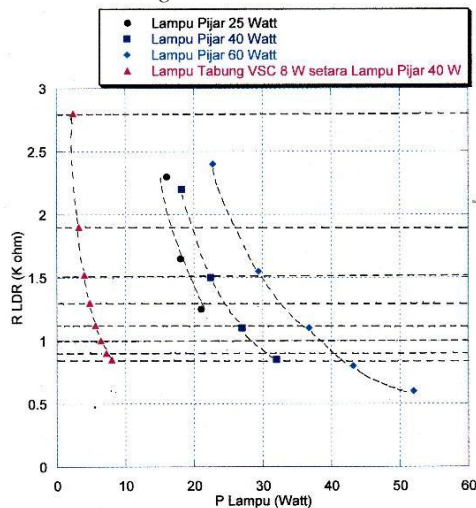
Gambar 3.1 Rangkaian eksperimen

- (e) Mengganti bohlam pijar 60W dengan salah satu merek bohlam TL 8W, dan melakukan kembali langkah (c), diteruskan dengan 4 bohlam yang berbeda merek.
- (f) Menghitung besarnya daya listrik yang digunakan pada setiap tegangan dan bohlam dengan persamaan (1)
- (g) Memplot grafik nilai tahanan LDR (R dalam ohm) sebagai fungsi daya yang digunakan (P dalam watt) dari keempat buah jenis bohlam (bohlam pijar: 20, 40, dan 60W, dan bohlam TL 8W).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasar data yang didapatkan, maka diperoleh grafik permerek bohlam tabung sebagai berikut:

Bohlam Tabung VSC

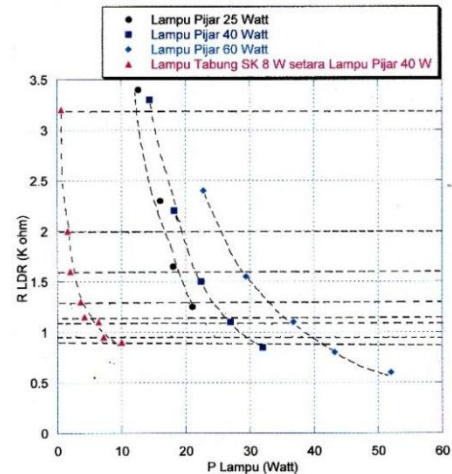


Gambar 4.1 Perbandingan bohlam TL VSC terhadap bohlam pijar.

Dari grafik tersebut (Gambar 4.1), terlihat bahwasanya pada kisaran tegangan paling sering dipakai (PLN) bohlam tabung VSC bernilai konsisten karena nilai hambatan LDRnya sama dengan hambatan LDR pada bohlam Pijar 40W. Selain itu, pergeseran dari data relatif berdempet. Ini menandakan bohlam tabung

VSC relative tidak peka terhadap perubahan daya yang disebabkan perubahan tegangan.

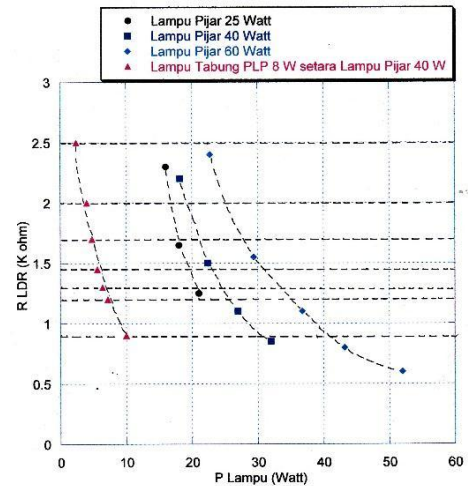
Bohlam Tabung SK



Gambar 4.2 Perbandingan bohlam TL SK terhadap bohlam pijar

Dari grafik tersebut (Gambar 4.2), terlihat bahwasanya pada kisaran tegangan paling sering dipakai (PLN) bohlam tabung SK bernilai relatif konsisten karena nilai hambatan LDRnya hampir sama dengan hambatan LDR pada bohlam Pijar 40W. Selain itu, pergeseran dari data relatif berdempet. Ini menandakan bohlam tabung SK relatif tidak peka terhadap perubahan daya yang disebabkan perubahan tegangan.

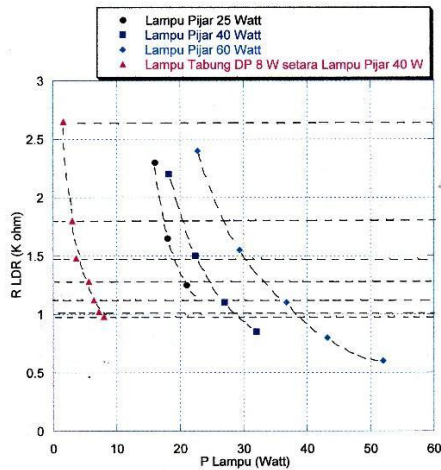
Bohlam Tabung PLP



Gambar 4.3 Perbandingan bohlam TL PLP terhadap bohlam pijar.

Dari grafik tersebut (Gambar 4.3), terlihat bahwasanya pada kisaran tegangan paling sering dipakai (PLN) bohlam tabung PLP bernilai relatif konsisten karena nilai hambatan LDR hampir sama dengan hambatan LDR pada bohlam Pijar 40W. Selain itu, pergeseran dari data relatif berjauhan. Ini menandakan bohlam tabung PLP relatif peka terhadap perubahan daya yang disebabkan perubahan tegangan dengan jarak hambatan LDR antar data paling bawah dengan data atas 0,3 KOhm.

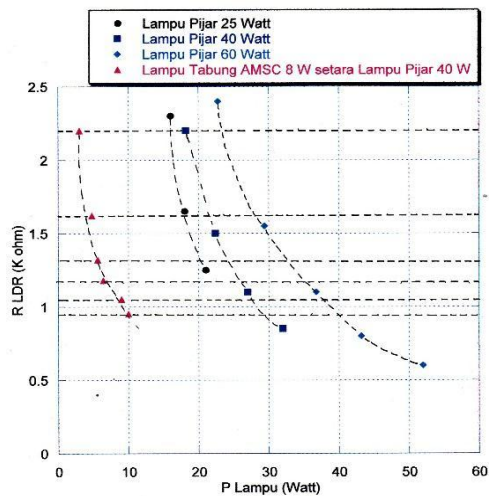
Bohlam Tabung DP



Gambar 4.4 Perbandingan bohlam TL DP terhadap bohlam pijar

Dari grafik tersebut (Gambar 4.4), terlihat bahwasanya pada kisaran tegangan paling sering dipakai (PLN) bohlam tabung DP bernilai tidak konsisten karena nilai hambatan LDR tidak sama dengan hambatan LDR pada bohlam Pijar 40W (berjarak 0,13 Kohm). Selain itu, pergeseran dari data relatif berdempet. Ini menandakan bohlam tabung DP relatif tidak peka terhadap perubahan daya yang disebabkan perubahan tegangan.

Bohlam Tabung AMSC



Gambar 4.5 Perbandingan bohlam TL AMSC terhadap bohlam pijar.

Dari grafik tersebut (Gambar 5.5), terlihat bahwasanya pada kisaran tegangan paling sering dipakai (PLN) bohlam tabung AMSC bernilai tidak konsisten karena nilai hambatan LDR tidak sama dengan hambatan LDR pada bohlam Pijar 40W (berjarak 0,1 Kohm). Selain itu, pergeseran dari data relatif berjauhan. Ini menandakan bohlam tabung AMSC relatif peka terhadap perubahan daya yang disebabkan perubahan tegangan (jarak hambatan LDR antara data paling bawah dengan data atas 0,1 Kohm).

KESIMPULAN

1. Dapat diperkenalkan metode uji kualitas bohlam TL dengan piranti LDR
2. Hasil contoh uji memperlihatkan bahwa bohlam dengan kekonsistensian atas klaim label dan kurang peka terhadap fluktuasi daya adalah bohlam tabung

merek VSC

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih peneliti haturkan kepada Fakultas MIPA UGM serta Bapak Kepala Lab Fisika Dasar di Jurusan Fisika atas dukungan dalam penelitian ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan yang sangat berguna bagi penyelesaian penelitian ini.

PUSTAKA

- [1] Frik, H.; 2008. *Ilmu Fisika Bangunan*, Yogyakarta: Kanisius
- [2] Jati, B.M.E.; Priyambodo, T. K.; 2010, *Fisika Dasar Listrik-Magnet, Optika, Fisika Modern*, edisi1, Jogjakarta, Penerbit Andi
- [3] Poernachandra, S.; 2005. *Introduction to electrical electronics and communication engineering*, New Delhi, Laxmi Publications

PEMBUATAN PIRANTI PENDINGIN TERMOAKUSTIK GELOMBANG BERJALAN

Ikhsan Setiawan

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara BLS 21 Yogyakarta 55281 Indonesia
Email : ikhsan_s@ugm.ac.id

Abstrak

Piranti pendingin termoakustik adalah alat pendingin yang menggunakan gelombang bunyi untuk memindahkan kalor dari tandon (reservoir) dingin ke tandon panas. Piranti pendingin ini bersifat ramah lingkungan karena tidak menggunakan zat-zat perusak lingkungan seperti freon, melainkan menggunakan udara atau gas mulia sebagai zat kerja. Konstruksi yang sederhana dan bahan-bahan yang mudah diperoleh menjadikan piranti pendingin ini murah dan mudah dibuat dan dirawat.

Makalah ini memaparkan tentang pembuatan piranti pendingin termoakustik gelombang berjalan. Komponen-komponen utama piranti ini adalah sebuah loudspeaker 8 inchi 120 W sebagai sumber bunyi, sebuah simpal pipa (looped tube) yang terbuat dari rangkaian pipa-pipa PVC (poly-vinyl chloride) bernominal diameter 2 inchi dengan keliling total simpal 220 cm, dan sebuah regenerator yang dibuat dari susunan rapat lembaran-lembaran kasa kawat baja antikarat (stainless-steel). Dua macam ukuran kasa (mesh number) yang digunakan dalam penelitian ini adalah #40 dan #50. Regenerator dengan panjang 4 cm diletakkan di dalam pipa PVC simpal. Udara bebas (bertekan atmosfer dan bersuhu kamar) digunakan sebagai gas kerja di dalam pipa. Interaksi termal antara gas yang dilalui oleh gelombang bunyi berjalan dengan regenerator menghasilkan proses pemindahan kalor melalui regenerator dari satu sisi ke sisi lainnya sehingga terjadi pendinginan gas di dekat satu sisi regenerator dan terjadi pemanasan gas di dekat sisi lain regenerator tersebut.

Hasil uji coba dengan frekuensi bunyi 40 Hz, ukuran kasa #40, dan daya input 66 W memperlihatkan penurunan suhu gas di sisi pendinginan sekitar 6,2 °C, sedangkan uji coba dengan ukuran kasa #50 dan daya input 70 W menghasilkan penurunan suhu gas di sisi pendinginan sekitar 5 °C.

Untuk meningkatkan kinerja piranti pendingin termoakustik ini, optimasi berbagai parameter penting perlu dilakukan, dan disarankan juga untuk memasang komponen penukar kalor (heat exchanger) di ujung panas regenerator. Piranti pendingin termoakustik yang berkinerja tinggi akan berpotensi menjadi alat pendingin alternatif yang sederhana dan ramah lingkungan.

Kata kunci : Piranti pendingin, termoakustik, gelombang berjalan, ramah lingkungan

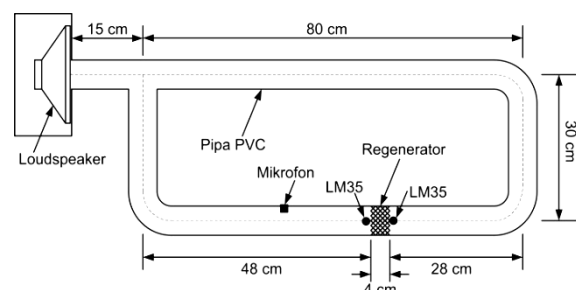
PENDAHULUAN

Piranti pendingin termoakustik adalah alat pendingin yang menggunakan gelombang bunyi untuk memindahkan kalor dari tandon (reservoir) dingin ke tandon panas. Piranti pendingin termoakustik ber-sifat ramah lingkungan karena tidak menggunakan zat-zat yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan seperti freon, melainkan menggunakan udara, gas mulia, atau gas inert lainnya sebagai zat kerja. Konstruksi yang sederhana dengan hanya sedikit komponen yang bergerak serta bahan-bahan yang mudah diperoleh menjadikan piranti pendingin ini murah dan mudah dibuat dan dirawat. Beragam keuntungan tersebut di atas membuat piranti pendingin termoakustik berpotensi sebagai alat pendingin alternatif yang ramah lingkungan.

Makalah ini memaparkan tentang pembuatan sebuah piranti pendingin termoakustik jenis gelombang berjalan dan hasil uji coba pengoperasiannya. Pembahasan lebih rinci tentang pembuatan alat pendingin ini akan disajikan dalam bab berikutnya, dan kemudian dilanjutkan dengan bab tentang cara peng-operasian alat dan hasil uji cobanya. Pada bab-bab selanjutnya dijelaskan tentang prinsip kerja piranti pendingin termoakustik gelombang berjalan, kemudian tentang upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja piranti pendingin termo-akustik, dan diakhiri dengan kesimpulan.

PEMBUATAN PIRANTI PENDINGIN TERMOAKUSTIK

Piranti pendingin termoakustik yang dibuat adalah jenis gelombang berjalan dengan pandu gelombang berbentuk simpal (looped tube). Komponen-komponen utama piranti ini adalah sebuah loud-speaker sebagai sumber bunyi, sebuah simpal pipa yang terbuat dari rangkaian pipa-pipa PVC (poly-vinyl chloride), dan sebuah medium berpori yang disebut regenerator dan dibuat dari susunan rapat lembaran-lembaran kasa kawat (wire mesh) baja antikarat (stainless steel).



Gambar 1 Diagram skematik piranti pendingin termoakustik yang dibuat dalam penelitian ini.

Gambar 1 memperlihatkan diagram skematik piranti pendingin termoakustik yang dibuat. Sebuah loudspeaker 8 inchi 120 W sebagai sumber gelombang bunyi dihubungkan dengan simpal

melalui se-buah percabangan pipa. Pipa PVC yang digunakan berukuran nominal diameter 2 inci, dengan dia-meter-dalam 54,9 mm dan tebal dinding pipa 2,6 mm. Panjang total keliling simpal adalah 220 cm. Sebuah *regenerator* dengan panjang 4 cm diletakkan di dalam pipa PVC simpal dengan lokasi seperti tampak pada Gambar 1. Gambar 2 adalah foto piranti pendingin yang telah disusun.



Gambar 2 Foto piranti pendingin termoaustik gelombang berjalan yang telah disusun dalam penelitian ini.

Dua buah *regenerator* akan diuji dalam peneli-tian ini, masing-masing terbuat dari kasa kawat baja antikatrat berukuran #40 dan #50. Diperlukan 92 lembar kasa berukuran #40 untuk membuat *regene-rator* sepanjang 4 cm, dan 120 lembar kasa ukuran #50 untuk membuat *regenerator* dengan panjang yang sama. Gambar 3(a) memperlihatkan contoh beberapa kasa berukuran #40 dan #50, sedangkan kasa-kasa berukuran #50 yang telah dimasukkan ke dalam pipa PVC ditunjukkan oleh Gambar 3(b).

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan ukuran kasa adalah bahwa parameter $\omega\tau$ harus ber-nilai kurang dari 1 untuk piranti-piranti termoaustik gelombang berjalan, dengan ω adalah frekuensi sudut gelombang bunyi dan τ adalah waktu relaksa-si termal pada *regenerator* (Biwa et al, 2004). Wak-tu relaksasi termal τ dapat dihitung dengan persama-an $\tau = r_h^2 / 2\alpha$, dengan r_h adalah jejari hidrolis *rege-nerator* dan $\alpha = k / \rho_m c_p$ adalah difusivitas termal gas, dengan k adalah konduktivitas termal gas, ρ_m adalah densitas rerata gas, dan c_p adalah kalor jenis isobarik gas (Yazaki et al, 1998). Difusivitas gas (α) dihubungkan dengan jarak penetrasi termal gas (δ_k) melalui hubungan (Swift, 2002)

$$\delta_k = \sqrt{2\alpha/\omega}. \quad (1)$$

Dengan demikian parameter $\omega\tau$ dapat dinyatakan sebagai

$$\omega\tau = \left(\frac{r_h}{\delta_k}\right)^2. \quad (2)$$

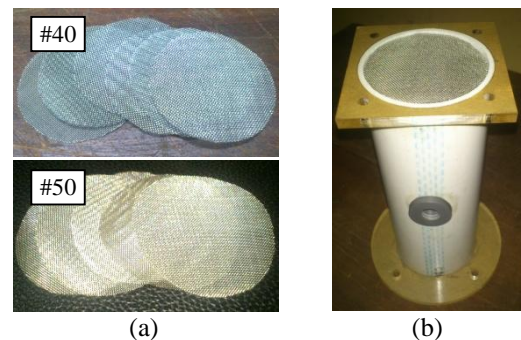
Jarak penetrasi termal gas adalah jarak yang da-pat ditempuh oleh kalor di dalam gas dalam selang waktu $t = 2\pi/\omega$. Besaran ini menggambarkan jarak dari sebuah dinding pejal tempat gas masih dapat berinteraksi secara termal dengan dinding padat tersebut.

Jejari hidrolis *regenerator* yang terbuat dari tum-pukan kasa kawat dapat dihitung dengan persamaan (Swift, 2002)

$$r_h = D \frac{\phi}{4(1 - \phi)} \quad (3)$$

dengan D adalah diameter kawat kasa dan ϕ adalah porositas *regenerator* yang dapat dinyatakan sebagai $\phi = 1 - (\pi n D / 4)$, dengan n adalah ukuran kasa, yaitu banyaknya kasa (*mesh number*) per satuan panjang kasa.

Pada pembuatan piranti pendingin termoaustik ini, kasa-kasa berukuran #40 dan #50 berturut-turut me-miliki kawat berdiameter 0.18 mm dan 0.12 mm, sehingga *regenerator* yang dibuat dari kasa-kasa ini berturut-turut memiliki jejari hidrolis 0.14 mm dan 0,10 mm. Di sisi lain, gas kerja yang digunakan adalah udara bebas dengan tekanan atmosfer dan suhu kamar, sehingga dalam rentang frekuensi bunyi 30 Hz – 100 Hz udara bebas tersebut memiliki jarak penetrasi termal dalam rentang sekitar 0,27 mm – 0,50 mm. Dengan demikian, *regenerator* dengan kasa berukuran #40 memiliki nilai $\omega\tau$ dari 0.10 sampai dengan 0.34, dan *regenerator* dengan kasa berukuran #50 memiliki nilai $\omega\tau$ dari 0,07 sampai dengan 0,24 dalam rentang frekuensi tersebut di atas. Nilai-nilai $\omega\tau$ ini sesuai untuk penggunaan gelom-bang bunyi berjalan dalam piranti termoaustik.



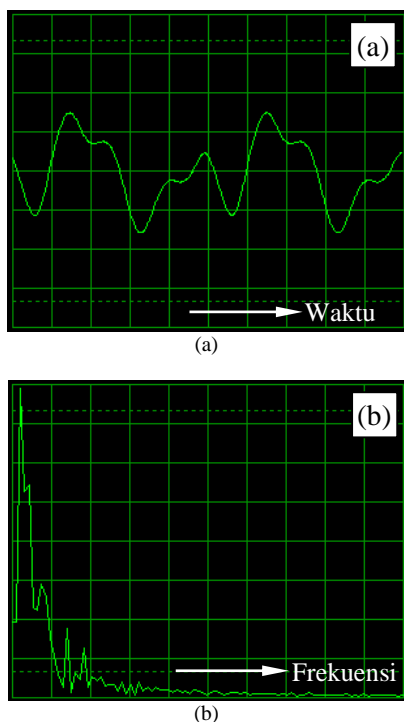
Gambar 3 (a) Contoh kasa baja antikatrat ukuran #40 dan #50. (b) Kasa #50 di dalam pipa PVC.

PENGOPERASIAN DAN UJI COBA PIRANTI PENDINGIN TERMOAKUSTIK

Dalam pengoperasian piranti pendingin ini, se-buah unit pembangkit sinyal audio dan sebuah unit penguat audio diperlukan sebagai pemberi sinyal input diperkuat kepada *loudspeaker*. Dalam hal ini, pembangkit sinyal audio yang digunakan adalah sebuah *Function Generator* model GFG 8016G, se-dangkan unit penguat audio (*audio amplifier*) yang digunakan berkemampuan daya hingga 200 W dan dapat diperoleh dengan mudah di toko-toko per-alatan elektronik. Besar tegangan dan kuat arus input yang masuk ke dalam *loudspeaker* masing-masing diukur dengan sebuah multimeter digital.

Dua buah sensor suhu LM35 dipasang di kedua ujung *regenerator* (lihat Gambar 1) dan digunakan untuk mengukur suhu gas di kedua lokasi tersebut selama alat pendingin ini dioperasikan. Dalam percobaan ini, sensor-sensor suhu tersebut terhubung dengan sebuah unit pengumpul data suhu (*temperature data logger*) dan hasil pengukurannya ditampilkan secara langsung (*real time*) pada layar monitor komputer oleh perangkat lunak buatan kami.

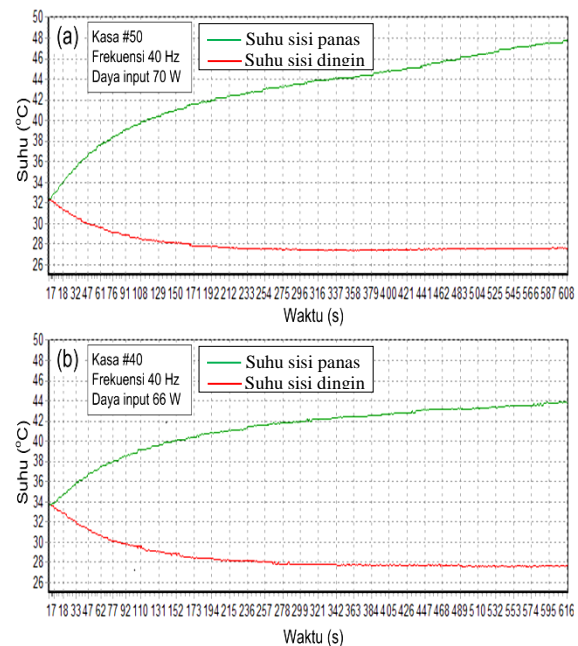
Sebuah mikrofon kecil jenis *mic-condensor* disematkan di sebelah dalam dinding pipa PVC di lokasi yang berjarak 19 cm dari sisi kiri *regenerator* (lihat Gambar 1) dan digunakan untuk memantau gelombang bunyi di dalam pipa simpal. Sinyal dari mikrofon diperkuat oleh sebuah unit *pre-amp* sebelum dimasukkan ke kartu suara (*sound card*) pada komputer untuk kemudian ditampilkan secara langsung oleh komputer dengan menggunakan perangkat lunak bebas Winscope 2.51.



Gambar 4 (a) Bentuk gelombang dan (b) Spektrum frekuensi gelombang bunyi di dalam pipa.

Saat piranti termoakustik ini dioperasikan pada frekuensi bunyi 40 Hz, bentuk gelombang bunyi yang terdeteksi oleh mikrofon ditampilkan oleh Gambar 4(a), sedangkan spektrumnya ditampilkan oleh Gambar 4(b) yang diperoleh dengan menggunakan fasilitas FFT (*Fast Fourier Transform*) yang tersedia dalam perangkat lunak Winscope 2.51. Tampak pada Gambar 4(a) bahwa gelombang bunyi di dalam pipa tidak berbentuk sinusoidal murni. Hal ini terjadi karena terdapat beberapa komponen frekuensi yang cukup besar sebagaimana tampak pada Gambar 4(b). Komponen frekuensi yang paling dominan adalah 40 Hz, sesuai dengan frekuensi sumber

bunyi yang diatur melalui unit pembangkit sinyal audio. Komponen-komponen frekuensi lainnya yang cukup tampak diantaranya adalah 80 Hz dan 120 Hz.



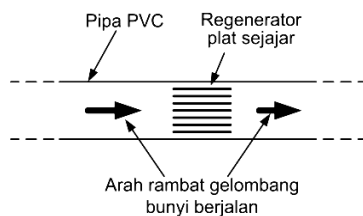
Gambar 5 Hasil-hasil uji coba yang khas dari pengoperasian piranti pendingin termoakustik: (a) Frekuensi bunyi 40 Hz, ukuran kasa #50, daya listrik input 70 W. (b) Frekuensi bunyi 40 Hz, ukuran kasa #40, daya listrik input 66 W.

Hasil-hasil uji coba yang khas dari pengoperasian piranti pendingin termoakustik ini ditunjukkan oleh Gambar 5. Gambar 5(a) adalah hasil uji coba dengan frekuensi bunyi 40 Hz, kasa kawat berukuran #50, dan daya listrik input 70 W, sedangkan Gambar 5(b) memperlihatkan hasil uji coba dengan frekuensi bunyi 40 Hz, kasa kawat berukuran #40, dan daya listrik input 66 W. Tampak bahwa terjadi penurunan suhu gas di dekat sisi dingin *regenerator* sekitar 5 °C pada Gambar 5(a) dan sekitar 6 °C pada Gambar 5(b) yang dicapai dalam waktu operasi sekitar 5 menit, dan setelah itu suhu gas cenderung konstan sampai dengan 10 menit waktu pengamatan. Dalam hal ini, sisi dingin berada di sebelah kiri *regenerator* dan sisi panas di sebelah kanannya. Di sisi lain, teramati terjadinya kenaikan suhu gas di dekat sisi panas *regenerator* sekitar 15,5 °C dalam Gambar 5(a) dan sekitar 10 °C dalam Gambar 5(b). Perbedaan hasil-hasil tersebut di atas terkait dengan penggunaan *regenerator* dengan ukuran kasa (atau porositas) yang berbeda yang berdampak pada efektivitas transfer kalor secara termoakustik serta faktor gesekan antara gas dan *regenerator* yang dapat menimbulkan panas tambahan.

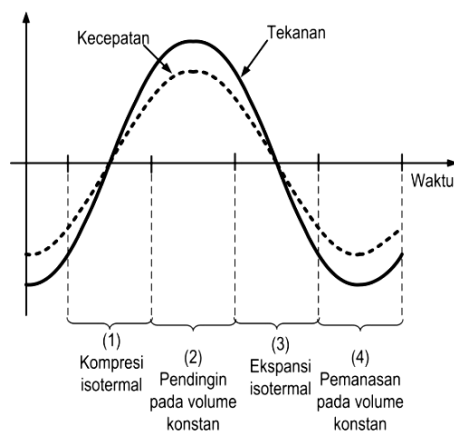
PRINSIP KERJA PIRANTI PENDINGIN TERMOAKUSTIK GELOMBANG BERJALAN

Untuk memahami prinsip kerja atau proses pemindahan kalor dalam piranti pendingin

termoakus-tik gelombang berjalan, akan lebih mudah apabila kita meninjau sebuah paket gas yang bergerak bolak-balik di dekat sebuah plat datar. Yang dimaksud paket gas adalah sebuah volume gas yang cukup ke-cil sedemikian sehingga suhu dan tekanannya seragam, namun volume gas cukup besar yang dapat me-muat banyak molekul gas sedemikian sehingga kita dapat meninjau hanya sifat-sifat makroskopik gas. Paket gas ini bergerak bolak-balik dalam arah sejajar dengan plat akibat dilalui oleh gelombang bunyi ber-jalan. Plat dianggap memiliki gradien suhu sepanjang plat. Jadi, di sini, medium berpori (*regenerator*) diasumsikan terdiri dari plat-plat sejajar dengan jarak pisah tertentu, dan gas yang berada di antara plat-plat tersebut (di dalam “kanal”) beresilasi seja-jar sumbu kanal atau sumbu pipa tempat *regenerator* berada, seperti diilustrasikan oleh Gambar 6.



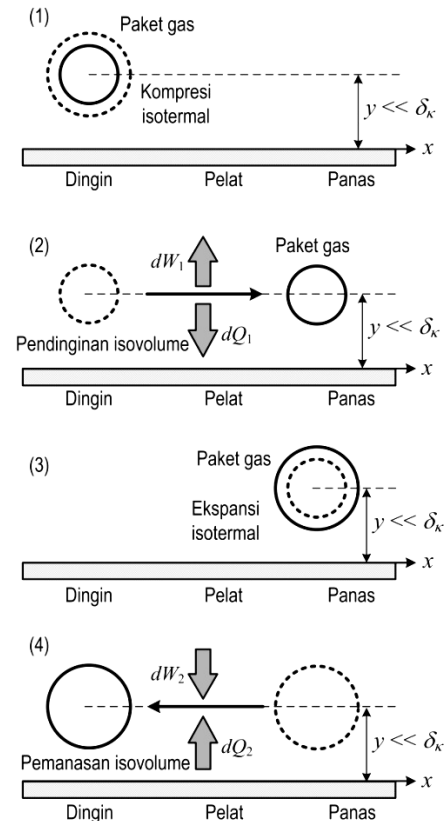
Gambar 6 Ilustrasi regenerator plat sejajar yang dilalui oleh gelombang bunyi berjalan dalam pipa.



Gambar 7 Pemfasean gelombang bunyi berjalan dan empat tahap proses yang dijalani oleh paket gas dalam pendingin termoakustik gelombang berjalan.

Dalam gelombang bunyi berjalan, paket gas yang beresilasi memiliki kecepatan dan tekanan yang sefase (beda fase nol). Apabila paket gas tersebut beresilasi di dekat sebuah permukaan plat yang memiliki gradien suhu sepanjang arah osilasinya, maka secara pendekatan paket gas ini akan mengalami empat tahap proses dalam satu siklus, yaitu (1) kompresi isothermal, (2) pendinginan pada volume tetap, (3) ekspansi isothermal, dan (4) pemanasan pada volume tetap, seperti ditunjukkan oleh Gambar 7 (Ceperly, 1979; in't Panhuis, 2009). Gambaran yang lebih rinci tentang keempat tahap tersebut diperlihatkan oleh Gambar 8 (in't Panhuis, 2009), dengan

menganggap paket gas beresilasi di dekat plat datar yang memiliki gradien suhu. Selain itu, jarak paket gas dengan plat dianggap cukup dekat yaitu jarak $y \ll \delta_k$. Kondisi ini disebut sebagai kondisi kontak termal sempurna, yang merupakan syarat penting dalam pengoperasian piranti termoakustik jenis gelombang berjalan.

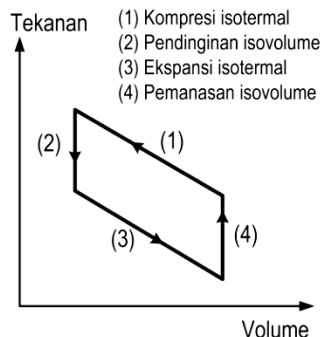


Gambar 8 Ilustrasi empat tahap proses sebuah siklus yang dijalani oleh paket gas dalam piranti pendingin termo-akustik gelombang berjalan. Dalam hal ini, jarak Paket gas dengan plat cukup kecil yaitu $y \ll \delta_k$.

Proses-proses yang terjadi dalam tiap tahap dalam Gambar 8 adalah sebagai berikut. Pada tahap (1) paket gas mengalami kompresi isothermal di dekat bagian plat yang dingin. Selanjutnya, dalam tahap (2) paket gas bergerak ke daerah dekat bagian plat yang panas dan pada saat bersamaan mengalami pendinginan pada volume konstan dengan melepaskan kalor dQ_1 kepada plat sehingga pada saat itu paket gas melakukan usaha dW_1 pada lingkungannya. Kemudian, pada tahap (3) paket gas mengalami ekspansi isothermal di dekat bagian plat yang panas. Akhirnya, pada tahap (4) paket gas bergerak kembali ke daerah dekat bagian plat yang dingin dan pada saat bersamaan mengalami pemanasan pada volume konstan dengan menyerap kalor dQ_2 dari plat, sehingga pada saat itu usaha dW_2 dilakukan pada paket gas oleh lingkungannya.

Gambar 9 memperlihatkan diagram tekanan-volume (p - V) untuk proses tersebut di atas. Integral tertutup $\oint p dV$ bernilai negatif yang

mengindikasikan bahwa dalam siklus ini energi akustik (bunyi) diserap oleh paket gas untuk melakukan transfer kalor. Siklus termodinamik dalam diagram ini dikenal sebagai siklus Stirling ideal (Ceperly, 1979).



Gambar 9 Diagram tekanan-volume paket gas dalam proses transfer kalor dalam piranti pendingin termoakustik gelombang berjalan.

UPAYA PENINGKATAN KINERJA

Setelah tahap pembuatan piranti termoakustik ini telah berhasil dilaksanakan, yaitu bahwa piranti pendingin ini telah berhasil memperlihatkan terjadinya penurunan suhu gas di lokasi pendinginan, maka langkah selanjutnya adalah mempelajari pengaruh berbagai variabel yang dapat mempengaruhi kinerja piranti dan kemudian melakukan optimasinya. Variabel-variabel tersebut diantaranya adalah frekuensi bunyi, ukuran kasa kawat, panjang *regenerator* dan lokasi *regenerator*. Selain itu, kinerja piranti pendingin ini dapat juga ditingkatkan dengan memasang komponen penukar kalor (*heat exchanger*) tepat di sisi panas *regenerator* agar kalor yang terkumpul di tempat ini dapat segera dibuang ke luar (lingkungan) sehingga dapat mengurangi aliran kalor balik dari sisi panas ke sisi dingin melalui bahan *regenerator* dan pipa. Akhirnya, salah satu hal yang secara signifikan dapat meningkatkan kinerja piranti ini adalah penggunaan gas mulia (misalnya helium) bertekanan tinggi sebagai gas kerja (Swift, 2002).

KESIMPULAN

Sebuah piranti pendingin termoakustik gelombang berjalan telah berhasil dibuat dengan hasil yang cukup baik sebagai tahap awal pengembangannya. Konstruksi piranti pendingin ini berupa simpal pipa (*looped tube*) dengan panjang keliling 220 cm, dengan menggunakan pipa PVC

berdiameter 2 inci. Komponen sumber bunyi yang digunakan adalah sebuah *loudspeaker* 8 inci 120 W. *Regenerator* yang digunakan memiliki panjang 4 cm terbuat dari susunan yang rapat dari lembaran-lembaran kasa kawat baja antikarat. Udara bebas (bertekanan atmosfer dan bersuhu kamar) digunakan sebagai gas kerja di dalam pipa. Piranti pendingin yang diuji-coba dengan frekuensi bunyi 40 Hz, ukuran kasa *regenerator* #40 dan daya input 66 W memberikan penurunan suhu gas sebesar 6,2 °C, sedangkan uji-coba dengan frekuensi bunyi 40 Hz, ukuran kasa *regenerator* #50 dan daya input 7 W menghasilkan penurunan suhu gas sebesar 5 °C,

Penelitian-penelitian lanjutan perlu dilakukan dalam rangka optimisasi berbagai variabel yang mempengaruhi kinerja sistem serta modifikasi desain konstruksi agar nantinya sebuah piranti pendingin termoakustik gelombang berjalan yang berkinerja tinggi dan ramah lingkungan dapat diproduksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Gadjah Mada dan Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan finansial untuk pelaksanaan penelitian ini melalui Dana Masyarakat FMIPA Universitas Gadjah Mada tahun anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- G. W. Swift (2002), *Thermoacoustics: A Unifying Perspective for Some Engines and Refrigerators*, Acoust. Soc. Am., Melville NY, USA.
- P. H. Ceperly (1979), *A Pistonless Stirling Engine – The Traveling Wave Heat Engine*, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 66, 1508 – 1513.
- P. H. M. W. in't panhuis (2009), *Mathematical Aspects of Thermoacoustic*, Ph.D. Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Netherland.
- T. Biwa, Y. Tashiro, dan U. Mizutani (2004), *Experimental Demonstration of Thermoacoustic Energy Conversion in a Resonator*, Phys. Rev. E., Vol. 69, 066304-1 – 6.
- T. Yazaki, A. Iwata, T. Maekawa, dan A. Tominaga (1998), *Traveling Wave Thermoacoustic Engine in a Looped Tube*, Phys. Rev. Lett. Vol. 81, 3128 – 3131.

CATCHING WINDOW TIME FREKUENSI LIMIT BERBASIS MCS51 PADA PENGEMBANGAN ALAT PENYELARAS GEMELAN PELOG JAWA TIMURAN

Joko Catur Condro Cahyono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Surabaya 60231
Email : caturcondro@gmail.com

Abstrak

Pada perancangan alat penyelaras gamelan didapatkan angka gap frekuensi alat ukur untuk masing-masing nada disesuaikan dengan tinggi rendahnya nada. Angka frekuensi gap yang diberikan tidak sama dan bergantung pada tinggi rendahnya nada dan bahan gamelan. Ketidak samaan angka frekuensi gap ini menjadikan alat penyelaras tidak cocok digunakan untuk mengukur nada gamelan yang terbuat dari bahan yang berbeda karena window time berbeda untuk bahan yang berbeda.

Pemanfaatan microcontroller dengan frekuensi kristal 12MHz dan pemrograman looping cek tegangan input mampu menangkap sinyal frekuensi yg diubah menjadi tegangan dengan nilai window time yg sempit. Pemrograman yg digunakan adalah pemrograman biasa.

Hasil dari penelitian ini adalah penyempurnaan desain alat penyelaras suara gamelan pelog nada tengah dengan laras Jawatimuran. Harapannya akan ditemukan kembali desain yang lebih kecil dan simple sesuai dengan kebutuhan yang ada. Beberapa pengrajin gamelan dari daerah yang berbeda mempunyai karakteristik bunyi yang berbeda sehingga dibutuhkan alat penyelaras dengan frekuensi yang berbeda pula untuk masing-masing daerah tersebut.

Kata kunci : Limit frekuensi, window time, laras pelog Jawa Timuran

PENDAHULUAN

Laras nada gamelan di Indonesia masih menggunakan kepekaan pendengaran pengrajin. Tiap nada gamelan dilaraskan menggunakan instrument gamelan lain yang telah jadi untuk didengarkan serta diukur menurut 'rasa' dari sang penglaras gamelan. Masing-masing daerah di Indonesia yaitu Jawatimur, Solo, Jogja, Sunda, dan Bali mempunyai frekuensi nada gamelan yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut mencirikan sifat dan budaya masyarakatnya, sehingga nada gamelan tidak dapat di-generalisasi sama untuk seluruh Indonesia.

Nada frekuensi yang spesifik untuk gamelan pada suatu daerah diwariskan secara turun temurun dari pengrajin di dalam keluarganya dalam suatu wilayah tertentu. Sehingga pengetahuan nada frekuensi untuk suatu daerah tersebut tetap sama.

Penelitian yang spesifik tentang frekuensi gamelan belum banyak dilakukan karena beberapa alasan. Frekuensi awal atau frekuensi pukulan maupun frekuensi petikan pada instrument gamelan berlangsung kurang dari beberapa detik. Setelah itu frekuensi ini ditutupi oleh frekuensi dengung jenis gamelan yang digunakan. Beberapa metode penelitian digunakan untuk mampu menangkap suara pukulan pertama pada gamelan ini sehingga diperoleh frekuensi sesungguhnya dari alat music yang dicari. Metode yang sama juga dilakukan untuk mengukur frekuensi alat music lainnya.

Dari latar belakang tersebut maka masalah yang dihadapi adalah bagaimana menangkap sinyal frekuensi pukulan pertama pada alat penyelaras gamelan Slendro laras Jawatimuran ?

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menangkap frekuensi pitch pada alat instrument pengukur frekuensi gamelan, maka dilakukan langkah langkah sebagai berikut :

1. Menentukan frekuensi acuan untuk masing-masing nada gamelan. (saron pelog laras Jawatimuran)
2. Membuat rangkaian penyelaras nada gamelan tanpa microcontroller MCS 51 dan menggunakan microcontroller MCS 51
3. Membuat program deteksi frekuensi input untuk microcontroller
4. Uji coba alat.

DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan knop sebagai pemilihan nada gamelan yang akan dilaras sangat efektif sekali. Selain berguna untuk mematikan frekuensi lain yang tak perlu dideteksi maka juga bermanfaat untuk memilih nyala lampu yang akan menyala.

1. Pemaparan Uji rangkaian alat menggunakan tanpa MCS 51 adalah :

Table 1. Percobaan deteksi suara frekuensi nada ji(1)

Percobaan ke-	Nada ji (1)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	V	X	X	X	X	X	X
2	V	X	X	X	X	X	X
3	V	X	X	X	X	X	X
4	V	X	X	X	X	X	X
5	V	X	X	X	X	X	X

Table 2. Percobaan deteksi suara frekuensi nada ro(2)

Percobaan ke-	Nada ro (2)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	V	X	X	X	X	X
2	X	V	X	X	X	X	X
3	X	V	X	X	X	X	X
4	X	V	X	X	X	X	X
5	X	V	X	X	X	X	X

Table 3. Percobaan deteksi suara frekuensi nada lu(3)

Percobaan ke-	Nada lu (3)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	V	X	X	X	X
2	X	X	V	X	X	X	X
3	X	X	V	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	V	X	X	X	X

Table 4. Percobaan deteksi suara frekuensi nada pat(4)

Percobaan ke-	Nada pat (4)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	V	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	V	X	X	X
4	X	X	X	V	X	X	X
5	X	X	X	V	X	X	X

Table 5. Percobaan deteksi suara frekuensi nada mo(5)

Percobaan ke-	Nada mo (5)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	X	V	X	X
2	X	X	X	X	V	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	V	X	X
5	X	X	X	X	X	X	X

Table 6. Percobaan deteksi suara frekuensi nada nem(6)

Percobaan ke-	Nada nem (6)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	X	X	V	X
2	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	V	X
4	X	X	X	X	X	V	X
5	X	X	X	X	X	V	X

Table 7. Percobaan deteksi suara frekuensi nada pi(7)

Percobaan ke-	Nada pi (7)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	X	X	X	V
2	X	X	X	X	X	X	V
3	X	X	X	X	X	X	V
4	X	X	X	X	X	X	V
5	X	X	X	X	X	X	V

Pada nada mo, nem, pat, dan lu terlihat bahwa tidak ada nyala yang terjadi pada alat. Tetapi nada lain yang selain nada yang diinginkan tidak menyala. Rata-rata kebenaran alat adalah :

Ji : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Ro : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Lu : $4/5 \times 100\% = 80\%$

Pat : $4/5 \times 100\% = 80\%$

Mo : $3/5 \times 100\% = 60\%$

Nem : $4/5 \times 100\% = 80\%$

Pi : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Rata-rata kebenaran alat adalah = 85,715 %

Analisa :

Pada beberapa percobaan pada nada lu, pat, mo, nem terlihat bahwa alat tidak mampu mendeteksi. Penyebabnya adalah : Nada alat gamelan yang dibunyikan mencapai puncak frekuensi hanya beberapa saat kurang dari 1 detik. Frekuensi puncak ini sama dengan frekuensi pukulan pada alat sehingga nyala LED kurang dari 1 detik. Nyala LED yang kurang dari 1 detik ini tidak terlihat secara visual oleh mata.

2. Pemaparan Uji rangkaian alat menggunakan MCS 51 adalah :

Table 8. Percobaan deteksi suara frekuensi nada ji(1)

Percobaan ke-	Nada ji (1)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	V	X	X	X	X	X	X
2	V	X	X	X	X	X	X
3	V	X	X	X	X	X	X
4	V	X	X	X	X	X	X
5	V	X	X	X	X	X	X

Table 9. Percobaan deteksi suara frekuensi nada ro(2)

Percobaan ke-	Nada ro (2)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	V	X	X	X	X	X
2	X	V	X	X	X	X	X
3	X	V	X	X	X	X	X
4	X	V	X	X	X	X	X
5	X	V	X	X	X	X	X

Table 10. Percobaan deteksi suara frekuensi nada lu(3)

Percobaan ke-	Nada lu (3)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	V	X	X	X	X
2	X	X	V	X	X	X	X
3	X	X	V	X	X	X	X
4	X	X	V	X	X	X	X
5	X	X	V	X	X	X	X

Table 11. Percobaan deteksi suara frekuensi nada pat(4)

Percobaan ke-	Nada pat (4)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	V	X	X	X
2	X	X	X	V	X	X	X
3	X	X	X	V	X	X	X
4	X	X	X	V	X	X	X
5	X	X	X	V	X	X	X

Table 12. Percobaan deteksi suara frekuensi nada mo(5)

Percobaan ke-	Nada mo (5)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	X	V	X	X
2	X	X	X	X	V	X	X
3	X	X	X	X	V	X	X
4	X	X	X	X	V	X	X
5	X	X	X	X	V	X	X

Table 13. Percobaan deteksi suara frekuensi nada nem(6)

Percobaan ke-	Nada nem (6)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	X	X	V	X
2	X	X	X	X	X	V	X
3	X	X	X	X	X	V	X
4	X	X	X	X	X	V	X
5	X	X	X	X	X	V	X

Table 14. Percobaan deteksi suara frekuensi nada pi(7)

Percobaan ke-	Nada pi (7)						
	Nyala 1	Nyala 2	Nyala 3	Nyala 4	Nyala 5	Nyala 6	Nyala 7
1	X	X	X	X	X	X	V
2	X	X	X	X	X	X	V
3	X	X	X	X	X	X	V
4	X	X	X	X	X	X	V
5	X	X	X	X	X	X	V

Dari table percobaan dapat diketahui bahwa kebenaran alat mendeteksi frekuensi nada gamelan saron pelog laras Jawa Timuran adalah 100 %

Ji : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Ro : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Lu : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Pat : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Mo : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Nem : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Pi : $5/5 \times 100\% = 100\%$

Rata-rata kebenaran alat adalah = 100 %

Alat ini bekerja sesuai dengan yang dikehendaki karena fungsi microcontroller MCS51

berfungsi menyalakan LED jika mendapatkan input frekuensi yang dikehendaki walaupun input tersebut berlangsung kurang dari 1 detik tetapi microcontroller mampu mendeteksinya karena mempunyai frekuensi sampling sebesar 12 MHz.

KESIMPULAN

1. Rangkaian alat penyalak gamelan tanpa microcontroller tidak mampu menangkap sinyal frekuensi pukulan awal nada gamelan gamelan dengan keakuratan alat 85,715 %
2. Rangkaian alat penyalak gamelan menggunakan microcontroller MCS 51 mampu menangkap sinyal frekuensi awal nada gamelan dengan keakuratan alat 100 %

PUSTAKA

- Fast Algorithms for Signal Processing, Richard E. Blahut, Cambridge University Press, 2010
- Wired For Sound: Engineering And Technologies In Sonic Cultures, Paul D. Greene, Thomas Porcello, Wesleyan University Press, 2005

PENGUKURAN PERUBAHAN SUHU DAN KELEMBABAN UDARA MENGGUNAKAN DATALOGGER BERBASIS ATMEGA 8535 DI KOTA MATARAM NTB

Laili Mardiana^{*1}, Kasnawi Alhadi²,
Lily Maysari Angraini³, Dian Wijaya Kurniawidi⁴
^{1,2,3,4} Program Studi Fisika FMIPA Universitas Mataram
Email : lailimardianamahrip@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur perubahan suhu, dan kelembaban udara terhadap waktu di Kota Mataram. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sebuah prototype datalogger yang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban. Datalogger yang digunakan adalah sebuah mikrokontroler AVR atmega 8535. Pengukuran suhu dan kelembaban menggunakan sensor SHT11. Datalogger digunakan agar pengukuran dapat dilakukan secara otomatis dan kontinyu. Dari data hasil pengukuran dan pengolahan menggunakan software excel, diperoleh korelasi dan pola perubahan suhu dan kelembaban serta galat relatif pengukuran sebesar $\pm 1\%$. Berdasarkan hasil yang diperoleh bahwa datalogger suhu dan kelembaban berbasis mikrokontroler AVR atmega 8535 dapat dijadikan sebagai alat ukur suhu dan kelembaban udara yang memiliki akurasi tinggi dan yang real time.

Kata kunci: pengukuran suhu dan kelembaban, datalogger, SHT11, mikrokontroler Atmega 8535.

PENDAHULUAN

Pulau Lombok merupakan salah satu daerah dengan kondisi topografi yang tidak seragam. Kondisi ini menyebabkan variasi suhu udara, kelembaban udara yang berbeda pada lokasi yang berbeda. Oleh karena itu untuk memperoleh suatu model keadaan cuaca dan prediksinya, maka diperlukanlah suatu pengamatan unsur-unsur cuaca yang lengkap, kontinyu dan menyeluruh.

Pengumpulan data unsur-unsur cuaca yang selama ini dilakukan oleh stasiun pengamatan cuaca BMKG di Pulau Lombok masih bersifat parsial dan diskrit. Hal ini disebabkan karena teknik dan teknologi pengamatan cuaca yang dimiliki belum memadai baik dari segi keluasan jangkauan wilayah amatan, maupun dari segi jumlah stasiun BMKG itu sendiri. Berdasarkan hasil observasi pada penelitian mandiri sebelumnya, diperoleh data jumlah stasiun BMKG di Pulau Lombok hanya 2 (dua) yaitu di Kecamatan Kediri dan di Bandara International Lombok di Lombok-Tengah (BMKG, 2012), dan kedua stasiun ini terpusat hanya di daerah Selatan pulau Lombok saja. Sedangkan data cuaca untuk daerah lainnya khususnya di kota Mataram belum banyak diperhatikan dan diteliti

Kondisi tersebut di atas akan menimbulkan bencana. Selain itu pemodelan cuaca serta prediksinya pun menjadi tidak akurat. Hal ini tentunya akan merugikan masyarakat kota Mataram yang sangat bergantung pada kondisi cuaca. Mengingat mata pencaharian masyarakat Kota Mataram banyak di bidang pertanian dan nelayan. Melihat kondisi tersebut di atas maka diperlukan suatu *prototype* pengamatan cuaca yang bersifat *mobile* (atau *portable*) yang dapat dipindahkan dengan mudah ke daerah yang membutuhkan.

Pesatnya perkembangan di bidang elektronika telah membawa kemajuan pada bidang sensor-sensor, mikrokontroler dan penyimpanan data. Pada saat ini telah tersedia sensor-sensor cuaca baik yang analog maupun yang digital dengan harga yang terjangkau. Disamping itu kemampuan mikrokontroler yang

lengkap serta kapasitas komponen flash memori IC yang semakin besar, memberikan kemungkinan penggabungan tiga komponen dasar ini menjadi suatu alat datalogger cuaca yang portabel, efisien dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang.

Pengukuran unsur-unsur cuaca yang berubah setiap saat dan juga berbeda diberbagai tempat membutuhkan media penyimpanan yang *portable*, efisien dan murah. Salah satu media yang sering digunakan adalah seperangkat komputer yang terhubung dengan alat-alat pengukur unsur-unsur cuaca. Kemajuan teknologi *mikrokontroler* dan *flash* memori memungkinkan pembuatan sistem penyimpanan data atau *datalogger* yang berukuran kecil, efisien dan murah. *Datalogger* yang akan digunakan dalam penelitian ini berbasis mikrokontroler ATmega 8535 yang dilengkapi sensor cuaca SHT11.

Sensor SHT 11 merupakan sensor digital untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Adapun fitur-fiturnya adalah (1) memiliki rentang suhu (-40 °C sampai +123.8 °C). (2) akurasinya sebesar ± 0.5 °C @ 25 °C (3) rentang kelembaban (%RH) yaitu sebesar 0 sampai 100% RH (4) *Absolute RH accuracy*: $\pm 3.5\%$ RH (5) *Low power consumption* (typically 30 μ W).

Datalogger yang digunakan adalah dengan menggunakan mikrokontroler AVR atmega 8535. AVR ATmega 8535 adalah sebuah mikrokontroler 8-bit CMOS yang diproduksi oleh perusahaan Atmel dengan arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) (Atmel, 2012). AVR ATmega 8535 mempunyai fasilitas yang berguna untuk penelitian ini yaitu 16 *general-purpose register*, timer atau counter, *interrupt internal* dan *eksternal*, serial UART, analog digital converter (ADC). Selain itu, AVR Atmega 16 juga memiliki *In-System Programmable Flash on-chip* sehingga mikrokontroler ini dapat diprogram menggunakan komputer melalui hubungan serial SPI (Atmel, 2012). Mikrokontroler ATmega 8535 memiliki fasilitas internal memori EPROM sebesar 512 bytes yang dapat digunakan untuk menyimpan data dari sensor SHT11 yang digunakan. Jika setiap nilai hasil pengukuran

memerlukan satu byte memori, maka ATmega 8535 dapat menyimpan data sebanyak 512. Dalam penelitian ini digunakan 1 buah sensor, jadi ATmega dapat melakukan perekaman sebanyak 512 kali.

Untuk menunjang hardware datalogger maka digunakan software Code Vision AVR (CV AVR) yang berfungsi sebagai tempat membuat program untuk perintah sensor dan penyimpanan data pada EEPROM. CVAVR merupakan Software untuk membuat code Program microcontroller AVR. kebanyakan programmer memakai software ini karena fasilitas-fasilitas yang disediakan CodeVision AVR sangatlah memudahkan bagi programmer dalam membuat code. Dan software ini dapat diakses secara *freeware*.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kota Mataram, yaitu dengan menempatkan datalogger pada 2 lokasi yaitu di daerah Rembiga dan Ampenan. Pengukuran dilakukan selama kurang lebih 8 jam yaitu mulai pukul 23.00-08.00 wita. pengukuran dilakukan secara serentak. Dari 8 jam pengukuran diperoleh data sebanyak ± 4800 data karena pengukuran dilakukan setiap 6 detik.

Pengukuran dilakukan dengan selang waktu 6 detik karena dianggap pengukuran dapat lebih presisi dan kontinu. Karena dengan pengukuran yang kontinu diharapkan dapat menggambarkan distribusi yang lebih presisi juga.

Berikut adalah sistem datalogger yang digunakan dalam pengambilan data



Gambar.1. Datalogger yang telah dilengkapi catudaya dan saklar pengambilan data dan pengunduhan data.

Bahan yang digunakan untuk membuat datalogger adalah rangkaian minimum mikrokontroler ATmega 8535, sensor suhu dan kelembaban udara SHT 11, rangkaian ISP (downloader), dan baterai. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah dan seperangkat komputer dengan software CodeVisionAVR.

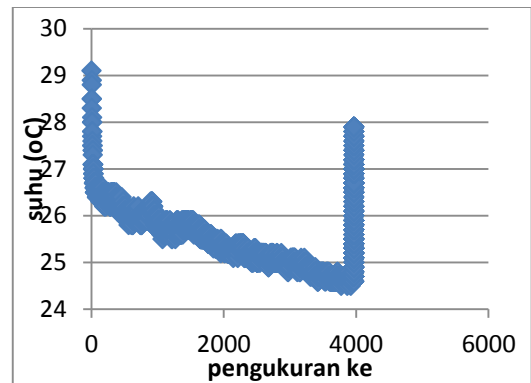
DISKUSI

Pengukuran perubahan suhu dan kelembaban di kota mataram pada dua lokasi yang berbeda yaitu daerah Rembiga dan Daerah Ampenan dapat dilihat pada gambar 2 sampai gambar 5. Hasil pengukuran perubahan suhu dan kelembaban di kota mataram menggunakan datalogger di grafikkan untuk mengetahui distribusi perubahan suhu dan kelembaban relative secara otomatis dan kontinyu. Karena dengan melakukan pengukuran secara kontinu, diharapkan data yang akan diperoleh juga lengkap.

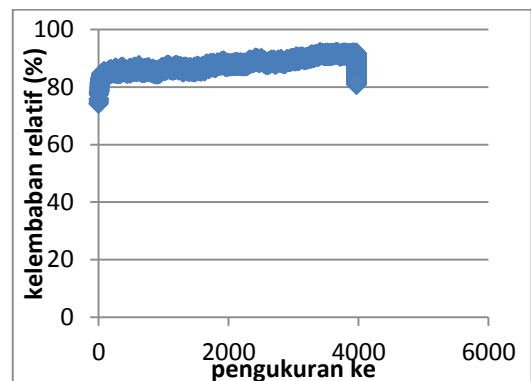
Sebelum melakukan pengukuran pada dua lokasi yang dimaksud, terlebih dahulu dilakukan

pengujian datalogger dengan alat standard yang ada dilaboratorium Fisika FMIPA Unram dan BMKG Kediri. Berdasarkan hasil ujicoba diperoleh galat relative sebesar $\pm 1\%$. Hasil ini diharapkan mampu menggambarkan kinerja alat datalogger ini, yaitu dapat pula dijadikan alat ukur suhu dan kelembaban udara dengan tingkat kepresisian yang tinggi.

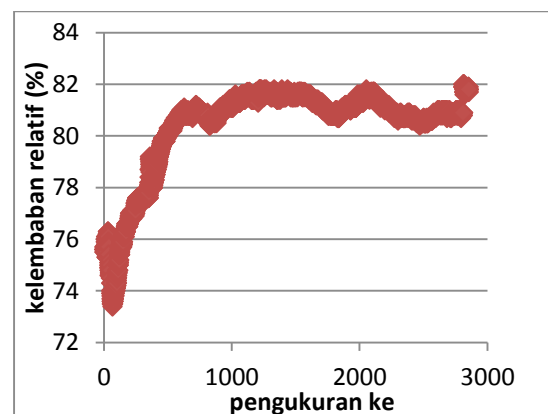
Berikut adalah distribusi perubahan suhu dan kelembaban untuk dua lokasi pengukuran



Gambar.2. Grafik pengukuran suhu di daerah Ampenan



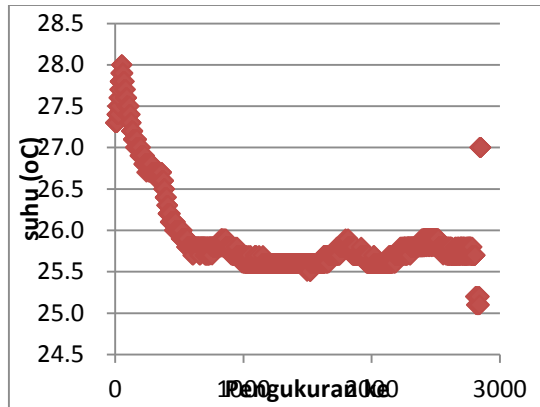
Gambar.3. Grafik pengukuran perubahan kelembaban relatif di daerah Ampenan



Gambar.4. Grafik pengukuran perubahan kelembaban relatif di daerah Rembiga

Gambar 2 dan 3 merupakan grafik distribusi perubahan suhu dan kelembaban relatif di daerah Ampenan. Pada lokasi ini terlihat bahwa distribusi suhu berbanding terbalik terhadap distribusi kelembaban. Hal ini menunjukkan kesesuaian pengukuran secara teoritis. Berdasarkan gambar juga, terlihat bahwa ketika pengukuran dengan selang 6 detik, tidak menghasilkan perubahan yang signifikan dan cenderung memiliki nilai

yang konstan. Namun ketika dalam rentang pengukuran ke 300-600 terdapat perubahan nilai baik terhadap suhu maupun kelembaban. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa perubahan suhu dan kelembaban terjadi ketika dalam selang 30-60 menit. Artinya bahwa tidaklah cukup informasi prakiraan suhu dan kelembaban dalam hitungan hari atau per-24 jam, melainkan informasinya dapat diberikan dalam hitungan jam dan kontinyu sehingga data yang diperoleh juga lengkap.



Gambar.5. Grafik pengukuran perubahan suhu di daerah Rembige

pada gambar 4 dan 5 juga terjadi hal yang sama dengan kondisi pada gambar 2 dan 3. Namun jika dibandingkan keadaan keduanya yaitu kondisi pada dua daerah penelitian yaitu daerah Ampenan dan Rembige. Bahwa meskipun memiliki kecenderungan yang sama dalam hal distribusi suhu dan kelembaban, terdapat juga perbedaan nilai suhu dan kelembaban meskipun dalam kisaran 1-2 °C dan 2-5 % RH. Hal ini dapat menggambarkan bahwa nilai suhu dan kelembaban tidaklah seragam setiap daerah melainkan terdapat variasi atau ketidakseragaman. Hal ini juga sangatlah berpengaruh terhadap kondisi topografi setiap wilayah.

KESIMPULAN

Berdasarkan diskusi dan analisis data yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengukuran perubahan suhu dan kelembaban berbasis mikrokontroler AVR Atmega 8535 dapat dilakukan di Kota Mataram. Dengan grafik

kecenderungan yang sama namun distribusi nilai yang bervariasi.

2. Galat relatif datalogger suhu dan kelembaban dengan alat standar berkisar $\pm 1\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat atas pendanaan melalui Dana BOPTN Universitas Mataram Tahun Anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahrens, C. D., 1994, *Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere*, 2nd Ed. West Publishing, New York.
- Atmel, 2012, 8-bit AVR microcontroller with 16 kbytes in-system programmable flash, Atmega 16, Atmega 16L, di unduh di <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>
- HP Info Tech, 2005, *Codevision AVR 1.24.7 user manual*, HP Info Tech.
- HSM 20G Datasheet, 2012, HSM 20G Humidity sensor module,
- National Instruments, 2012, *LabVIEW system design software*, diunduh di <http://www.ni.com/labview/>, 12 Maret 2012
- Sensirion, 2011, Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15) Humidity and Temperature Sensor IC, diunduh di http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf.
- Sparkfun, 2013a, uLog - The Lil'est Logger, <https://www.sparkfun.com/products/9228>, diunduh tanggal 23 Januari 2013.
- Sparkfun, 2013b, OpenLog, <https://www.sparkfun.com/products/9530>, diunduh tanggal 23 Januari 2013.
- Sparkfun, 2013c, *Launching our products!*, <http://www.sparkfun.com/news/283>, diunduh tanggal 25 Januari 2013.

IMPLEMENTASI JARINGAN SYARAF TIRUAN PADA MIKROKONTROLLER AVR ATMEGA1284P UNTUK KLASIFIKASI SINYAL ELECTROMYOGRAPHY NORMAL, MYOPATHY, DAN NEUROPATHY

Triwiyanto

Jurusan Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan Surabaya, Kementerian Kesehatan
Surabaya, Indonesia
Triwiyanto123@gmail.com

Abstrak

Pada aplikasi sistem yang berbasis real time memerlukan jaringan syaraf tiruan untuk klasifikasi data, maka mikrokontroler merupakan salah satu cara yang paling efektif, praktis dan biaya murah, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti komputer. Mikrokontroler AVR 8 bit mempunyai hardware multiplier 8 bit, yang dapat digunakan untuk proses perkalian 8 bit. Electromyography merupakan sinyal yang dibangkitkan karena adanya aktivitas listrik atau kontraksi pada otot. Sinyal EMG mempunyai karakteristik yang random dan mempunyai jangkauan frekuensi 20 Hz sampai dengan 1000 Hz. Untuk mengenali sinyal electromyography tipe normal, myopathy dan neuropathy maka harus terlebih dahulu melalui proses ekstraksi fitur, sebelum proses klasifikasi pada jaringan syaraf tiruan. Ekstraksi fitur dalam domain waktu yang sering digunakan adalah menggunakan root mean square (RMS), hasil pemrosesan ekstraksi fitur didapatkan sejumlah 40 fitur untuk setiap sinyal. Proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan menggunakan metode back propagation, dengan input nodes sejumlah 40, hidden nodes sejumlah 10 dan output nodes sejumlah 3. Proses pembelajaran dan pengujian jaringan syaraf tiruan dilakukan secara online menggunakan perangkat mikrokontroler ATMEGA1284P. Klasifikasi Sinyal electromyography normal, myopathy dan neuropathy untuk iterasi sejumlah 800 didapatkan hasil 100 %.

Kata kunci: mikrokontroler, AVR, EMG, RMS, Jaringan Syaraf Tiruan

PENDAHULUAN

Jaringan syaraf tiruan dapat memecahkan berbagai macam permasalahan di bidang pengenalan pola, pemrosesan citra dan diagnostik medis. Terinspirasi secara biologis, fungsi-fungsi *neuron* pada jaringan syaraf dapat diimplementasikan dalam bentuk persamaan matematika non linear.

Mikrokontroler AVR merupakan sebuah perangkat yang ampuh untuk menyelesaikan dan memproses sebuah persamaan matematika, karena memiliki akumulator, multiplier dan sistem *reduced instruction set* (RISC), untuk melakukan proses perkalian dan pembagian *fixed point* maupun *floating point*. Mikrokontroler AVR ATMEGA1284 mempunyai RAM 16 kByte, yang diperlukan untuk pemrosesan output aktivasi dan penyimpanan bobot neuron dan EEPROM 4 kByte, untuk keperluan penyimpanan nilai bobot secara permanen, yang digunakan oleh sistem tanpa memerlukan proses training lagi.

Implementasi jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroler telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Klasifikasi *plant iris* dengan jaringan syaraf tiruan multi layer perceptron yang diimplementasikan ke mikrokontroler 89s51, dengan proses pelatihan jaringan dilakukan dengan menggunakan program MATLAB, memberikan klasifikasi 100 % (Farooq, 2010). Implementasi jaringan syaraf tiruan dengan mikrokontroler 8051, hybrid multilayer perceptron diaplikasikan untuk diagnostic kanker serviks (Liung, 2003).

Implementasi jaringan syaraf tiruan pada penelitian ini diaplikasikan untuk proses klasifikasi sinyal Sinyal *electromyography normal*, *myopathy* dan *neuropathy*. Sebelum proses klasifikasi, perlu dilakukan

pra processing sinyal EMG untuk mendapatkan fitur-fitur yang diperlukan untuk input jaringan syaraf tiruan. Sinyal EMG diambil dari database bank *physionet.org*, yaitu sinyal *electromyography normal*, *myopathy* dan *neuropathy*, dengan frekuensi sampling 4000 Hz, karena sistem yang sudah dibangun adalah berbasis frekuensi sampling 1000 Hz, maka dilakukan proses *downsampling* dari 4000 Hz ke 1000 Hz. Karena bentuk sinyal EMG yang cenderung *random*, *non periodic* dan stokastik, maka diperlukan fitur ekstraksi dengan menggunakan VRMS. Implementasi jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroler untuk proses klasifikasi sinyal EMG tiga kondisi, memerlukan 40 input node, 10 hidden node dan 3 output node, untuk keperluan ini diperlukan SRAM *internal* yang cukup besar untuk menyimpan bobot-bobot tersebut. Implementasi jaringan syaraf tiruan dapat diimplementasikan pada AVR ATMEGA1284P yang mempunyai SRAM 16Kbyte, sehingga semua proses pelatihan dan pengujian dapat dilakukan pada mikrokontroler.

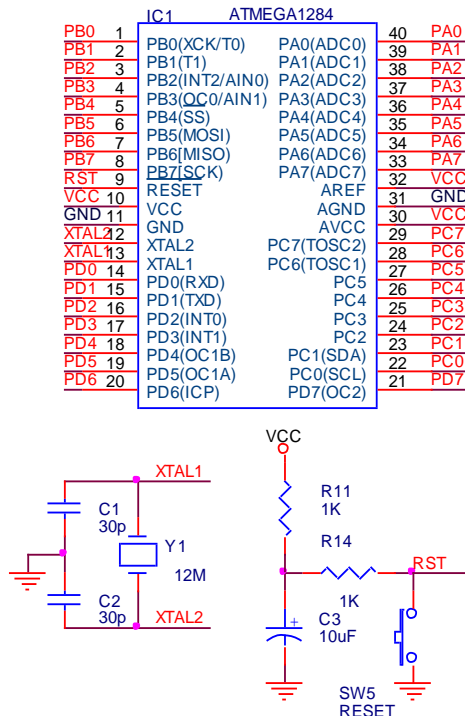
METODE

Mikrokontroler yang digunakan untuk implementasi jaringan syaraf tiruan adalah mikrokontroler 8 bit, AVR ATMEGA1284P. Mikrokontroler ini mempunyai SRAM 16 kByte, SRAM ini diperlukan untuk menyimpan bobot jaringan syaraf tiruan, dan bobot hasil pelatihan disimpan di EEPROM. Pra processing data sinyal EMG dilakukan dengan menggunakan bantuan program Delphi, baik proses *down sampling* dan pemrosesan ekstraksi fitur. Ekstraksi fitur yang didapatkan disimpan didalam flash mikrokontroler, yang selanjutnya digunakan sebagai nilai standar. Proses pembelajaran dan pengujian

jaringan syaraf tiruan dilakukan secara online pada mikrokontroller.

A. Minimum Sistem ATMEGA1284P

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, maka diperlukan tahapan penelitian sebagai berikut: pembuatan perangkat keras, pembuatan ekstraksi fitur sinyal EMG, implementasi jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroller AVR.

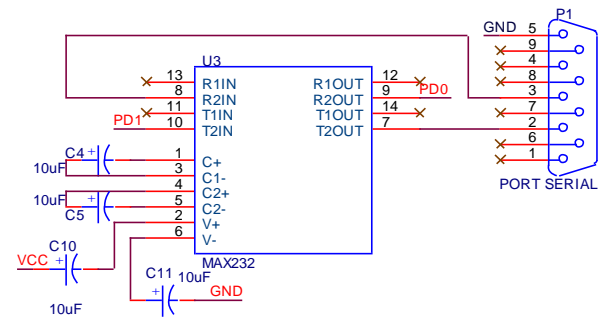


Gambar 1. Minimum sistem ATMEGA1284P

Minimum sistem yang digunakan untuk keperluan ini adalah AVR ATMEGA1284 yang merupakan mikrocontroller 8 bit, sebuah mikrocontroller yang tidak mahal dan mempunyai struktur RISC. Mikrocontroller ini dilengkapi I/O, ADC dan Timer yang diperlukan pada penelitian ini, pemilihan seri MEGA1284 dikarenakan mempunyai 16 kByte SRAM internal, kapasitas SRAM ini diperlukan untuk menampung variabel dan bobot *input hidden* dan *hidden output*.

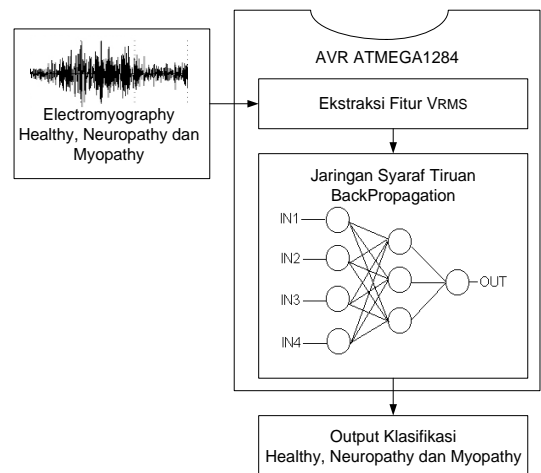
Proses *Edit* dan *debug* program dalam bahasa C menggunakan *IDE Codevision AVR* dan *downloadfile* HEX menggunakan *ProgISP 1.72*.

Untuk mengetahui proses yang sedang terjadi pada saat proses pelatihan jaringan syaraf tiruan, dan pengujian hasil klasifikasi maka diperlukan antar muka antara mikrokontroller dan computer, menggunakan komunikasi serial RS232, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Proses monitoring pembelajaran jaringan syaraf tiruan dapat dilakukan dengan menggunakan program aplikasi Hyper Terminal atau menu monitor pada codevision AVR.



Gambar 2. Komunikasi serial RS232 microcontroller ke komputer

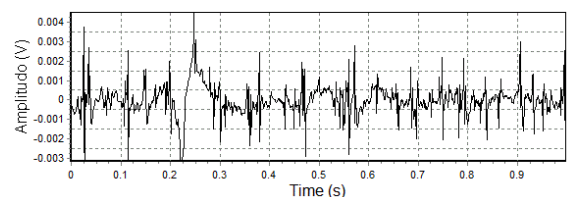
Proses monitoring pembelajaran jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan menu Terminal pada codevision, harus mempunyai Baudrate yang sama antara minimum sistem dan computer sebagai penerima data, agar terjadi sinkronisasi data.



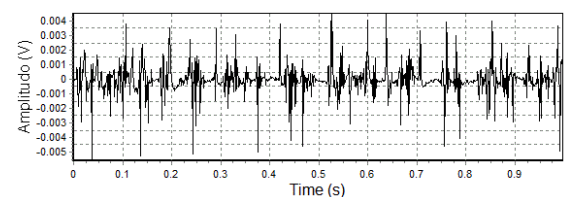
Gambar 3. Diagram blok penelitian

B. Electromyography

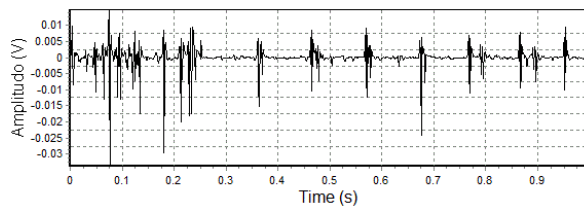
Sinyal EMG untuk proses pengujian jaringan syaraf tiruan diambil dari database bank sinyal physionet.org, yaitu sinyal *electromyographynormal*, *myopathy* dan *neuropathy*, yang diambil dengan frekuensi *sampling* 4000 Hz, yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 4. Electromyography normal



Gambar 5. Electromyography myopathy



Gambar 6. Electromyography neuropathy

Untuk mendapatkan ciri-ciri pada ketiga pola sinyal electromyography normal, myopathy dan neuropathy, maka diperlukan proses ekstraksi ciri, yang sekaligus untuk memperkecil ukuran data. Ekstraksi ciri dilakukan dengan menggunakan nilai tegangan root mean square, untuk kurun waktu tertentu.

C. Ekstraksi Fitur dengan RMS

Untuk mendapatkan ciri dari sinyal EMG setelah melalui proses *bandpass filter*, langkah selanjutnya adalah mengukur nilai V_{RMS} untuk rentang waktu tertentu. Pada penelitian ini rentang pengukuran V_{RMS} dilakukan setiap 200 ms untuk sinyal sEMG sepanjang 1000 ms.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} v_i^2} \quad (2)$$

N menyatakan jumlah sample data dan v_i menyatakan input sinyal EMG.

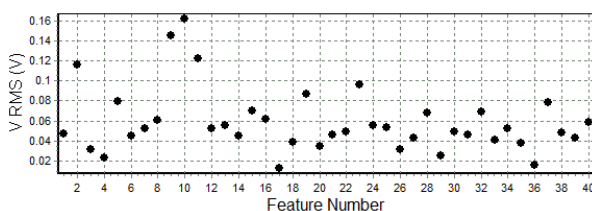
Pengukuran nilai VRMS dilakukan untuk setiap segmen sepanjang 25 ms. Sehingga penulisan persamaan tersebut dapat dituliskan dengan menggunakan pemrograman codevision AVR sebagai berikut:

```
for(i=0;i<25;i++)
{
sumvi+=v[i]*v[i];
}
RMS=sqrt(sumvi/25);
```

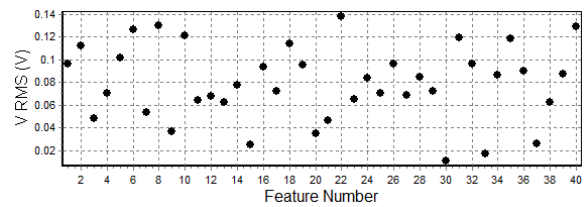
Hasil pemrosesan ciri sinyal EMG dengan menggunakan V_{RMS} didapatkan sebanyak 40 ciri untuk setiap pola sinyal EMG. Ciri yang didapatkan ini digunakan sebagai input node jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroller.

Pada gambar 7, 8 dan 9, merupakan sebaran 40 ciri masing-masing adalah ciri sinyal emg normal, myopathy dan neuropathy.

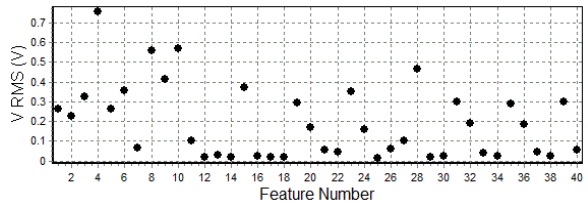
Sumbu x menyatakan ciri ke dan sumbu y menyatakan level tegangan RMS sinyal EMG.



Gambar 7. Ciri sinyal Electromyography normal



Gambar 8. Ciri sinyal Electromyography myopathy



Gambar 9. Ciri sinyal Electromyography neuropathy

Pada gambar 7, 8 dan 9 tampak pola yang khas, untuk setiap sinyal EMG yang berbeda. Oleh karena itu diperlukan proses klasifikasi dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan.

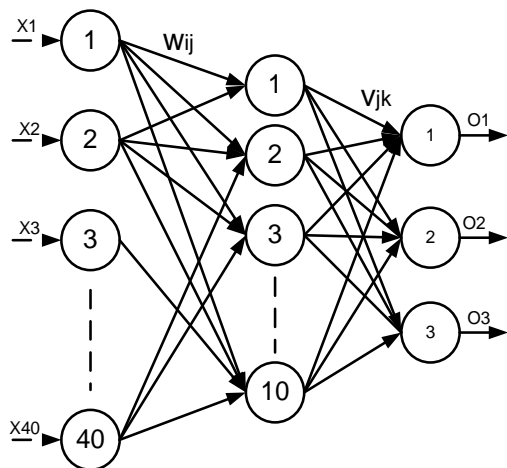
Untuk mengenalkan pola masing-masing sinyal emg baik normal, myopathy dan neuropathy, pada proses pembelajaran jaringan syaraf di mikrokontroller, maka ditanamkan pola tersebut kedalam Flash ROM mikrokontroller, yang digunakan sebagai sinyal input standart. Salah satu contoh implementasia pola sinyal EMG normal ke bahasa pemrograman C Codevision adalah sebagai berikut:

```
const float inpx[PatternCount][InputNodes] = {
{ 0.047, 0.116, 0.031, 0.023, 0.080, 0.045,
0.053, 0.060, 0.146, 0.162, 0.123, 0.052, 0.055,
0.045, 0.070, 0.061, 0.013, 0.039, 0.087, 0.034,
0.046, 0.049, 0.097, 0.055, 0.053, 0.032, 0.043,
0.068, 0.025, 0.049, 0.046, 0.069, 0.040, 0.053,
0.037, 0.016, 0.078, 0.048, 0.043, 0.059 },
};
```

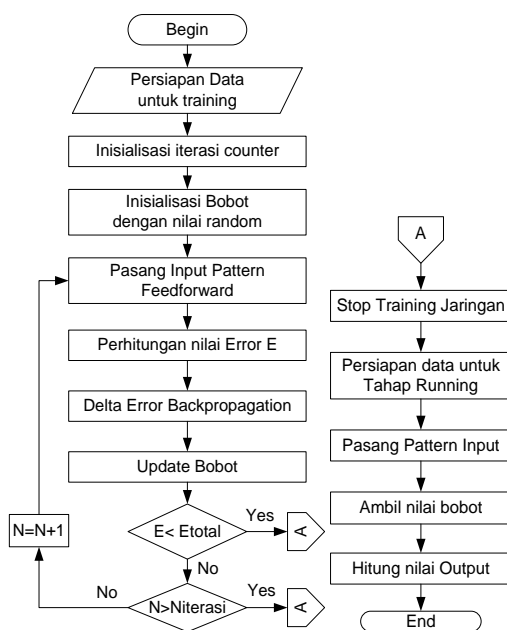
D. Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan pada Mikrokontroller AVR

Jaringan syaraf tiruan diimplementasikan pada mikrokontroller ATMEGA1284p, dengan struktur jaringan adalah 1 layer input node, 1 layer hidden node dan 1 layer output node. Hasil ekstraksi ciri sinyal EMG didapatkan 40 ciri, untuk setiap masing-masing pola, sehingga input jaringan syaraf tiruan mempunyai 40 node input. Pemberian hidden node adalah dilakukan dengan percobaan, dan output node jaringan syaraf tiruan adalah 3 node.

Implementasi jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroller mengikuti diagram alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 11, dengan metode pembelajaran adalah back propagation. Proses pelatihan dilakukan secara berurutan dengan memasang tiga pola sinyal EMG yang berbeda, masing-masing normal, myopathy dan neuropathy. Proses pembelajaran dilakukansampai menunjukkan nilai error rata-rata tertentu. Pada penelitian ini jumlah iterasi yang digunakan adalah sebesar kurang lebih 1000 iterasi.



Gambar 10. Struktur jaringan syaraf tiruan



Gambar 11. Diagram alir proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan.

HASIL

E. Pembelajaran Jaringan Syaraf Tiruan

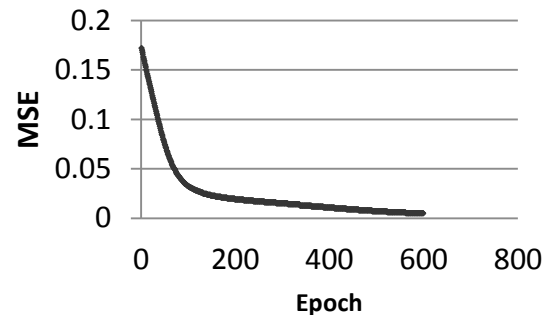
Proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroller memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses pembelajaran yang dilakukan di sebuah computer. Hal ini dikarenakan pada mikrokontroller hanya mempunyai multiplier integer 8 bit, sehingga untuk memproses perkalian data dengan format floating point, membutuhkan waktu yang lebih lama. Berikut merupakan percobaan konsumsi waktu yang dibutuhkan untuk untuk struktur jaringan 40 input node, 10 hidden node dan 3 output node dengan variasi pada jumlah iterasi.

Proses pembelajaran dilakukan dengan tiga sinyal EMG masing-masing adalah pola normal, myopathy dan neuropathy. Proses iterasi dilakukan dengan mengamati nilai MSE dan waktu yang dicapai setelah proses pembelajaran.

Tabel 1. Pengukuran lama proses pembelajaran terhadap iterasi.

No	Iterasi	MSE	Waktu
1	100	0.033	00:00:54

2	200	0.019	00:02:09
3	300	0.015	00:04:18
4	400	0.011	00:06:34
5	500	0.007	00:08:56



Gambar 12. Grafik MSE terhadap iterasi

F. Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan

Untuk melihat kemampuan jaringan syaraf tiruan dalam klasifikasi pola maka dilakukan proses pengujian dengan data yang dilatihkan maupun data yang belum dilatihkan. Karena data yang berasal dari database Physionet.org adalah 3 jenis sinyal EMG, maka untuk dengan data yang belum pernah dilatihkan adalah dengan melalui proses pemberian noise atau sinyal gangguan. Sinyal gangguan diberikan dalam prosentase 5 % dan 10 %.

Tabel 2. Klasifikasi Jaringan Syaraf dengan input data Latih

Data	True	False	Performa (%)
Normal	10	0	100
Myopathy	10	0	100
Neuropathy	10	0	100

Tabel 3. Klasifikasi Jaringan Syaraf dengan input data eksternal dan noise 5 %

Data	True	False	Performa (%)
Normal	10	0	100
Myopathy	10	0	100
Neuropathy	10	0	100

Tabel 4. Klasifikasi Jaringan Syaraf dengan input dan noise 10 %

Data	True	False	Performa (%)
Normal	10	0	100
Myopathy	10	0	100
Neuropathy	10	0	100

IV KESIMPULAN

1. Implementasi jaringan syaraf tiruan pada mikrokontroller dapat berjalan dengan baik, tetapi dengan kebutuhan SRAM yang cukup besar.
2. Proses pembelajaran jaringan syaraf tiruan memerlukan waktu yang cukup lama
3. Kemampuan klasifikasi jaringan syaraf tiruan dengan data latih, performa 100%
4. Kemampuan klasifikasi jaringan syaraf tiruan dengan data eksternal noise 10%, performa 75 %

REFERENSI

- Nicholas Jay Cotton, *A Neural Network Implementation on Embedded Systems*, IEEE Transaction On Industrial Electronics, Vol 58, No 3 March, 2011.
- Saoud, *A neural network based on an inexpensive eight bit microcontroller*, Neural computation and Application, 2010.
- Behan, *Integer Neural Network On Embedded System*, intechopen.com, Ryerson University Canada
- Kumaravel, *Distributed Chloride Prediction System using Neural Network and PIC18F452 Microcontrollers in Water*, International Journal of Computer Application, volume 8-No 14, 2010
- Avc Mutlu, *Microcontroller Based Neural Network Realization and Iris Plant Classifier Application*, International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Network – TAINN 2003
- Liung, *Design of A Neural Network Based Cervical Cancer Diagnosis System: A Microcontroller Approach*, ICAST 2003, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Farooq, *Microcontroller Based Neural Network Controlled Low Cost Autonomous Vehicle*, Second International Conference on Machine Learning and Computing, 2010

ANALISIS ELECTRO CONVULSIVE THERAPY (ECT) PADA PENDERITA SCHIZOPHERENIA JENIS KATATONIK DI RSJ DR. RADJIMAN WEDIODININGRAT LAWANG

Fadli Ama^{*1}, Suyanto², Fuad Ama³

³Dosen Fakultas Kedokteran Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

²Dosen Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS

¹Dosen Teknobiomedik FST UNAIR

Abstrak

Schizophrenia of catatonic type is one of diseases of soul with trouble of uppermost psikomotor and very dominant. ElectroConvulsiveTherapy (ECT) is one medical instrumentation for the medication therapy of schizophrenia. The analysis of ECT with scale of Bush Francis Catatonic Range Scale (BFCRS) was done to get the differences of growth between patient by therapy farmakom and ECT. Evaluation by using test analyses of variances (ANOVA) that is gotten by ECT $F_{hitung}(5\%) = 4.08$ and $F_{tabel}(5\%) = 45.919$, while the patient with farmakom therapy that is gotten by $F_{hitung}(5\%) = 0.7$ dan $F_{tabel}(5\%) = 4.02$. The patient with treatment of therapy ECT got improvement of speed of blood stream of capillary from 1 mm/dt become 2,626 mm/dt. The polarization of membrane occurred improvement from value overshoot + 40 mvolt become + 24,78 volt when ECT was done.

Keyword : Schizophrenia of catatonic type, Electro Convulsive Therapy (ECT)

PENDAHULUAN

Gangguan jiwa jenis Schizophrenia adalah jumlah terbesar dari jenis gangguan jiwa yang terdapat di RSJ Dr. Radjiman Wediodiningrat ini dengan menggunakan terapi obat. Pada kondisi tertentu digunakan ElectroConvulsiveTherapy (ECT) berupa shock listrik sebagai terapi pengobatan gangguan jiwa tersebut. Sampai saat ini upaya untuk membandingkan antara kedua terapi diatas secara ilmiah belum dilakukan. Namun dari literatur dan pengalaman lapangan menyatakan bahwa ECT dapat digunakan untuk mempercepat proses kesembuhan penderita. Terapi yang dilakukan untuk mempercepat kesembuhan dengan menggunakan obat dan ECT perlu dibuktikan secara ilmiah. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa jauh kecepatan tingkat kesembuhan pasien dengan terapi obat dibandingkan dengan terapi ECT.

TINJAUAN PUSTAKA

Kesehatan Jiwa

Sehat mental menurut seseorang menurut Expert Committee on Mental Health Worl Health Organization adalah seseorang dapat menyesuaikan diri secara konstruktif pada kenyataan, memperoleh kepuasan dari usahanya, merasa lebih puas untuk memberi daripada menerima, merasa bebas secara relatif dari ketegangan dan kecemasan, berhubungan dengan orang lain secara tolong menolong dan saling memuaskan, menerima kekecewaan untuk dipakai sebagai pelajaran dikemudian hari, mengarahkan rasa permusuhan kepada penyelesaian daya kasih sayang yang besar.

Gambaran klinis dari Schizophrenia jenis katatonik ini adalah : Stupor (amat berkurangnya reaktivitas terhadap lingkungan dan dalam gerakan serta aktivitas spontan) atau multivisme; kegelisahan (aktivitas motor yang tampak tak bertujuan, yang tidak dipengaruhi oleh stimuli eksternal); berpose (secara sukarela mengambil dan mempertahankan sikap tubuh tertentu yang tidak wajar); Negativisme (perlawanan

yang jelas tidak bermotif terhadap semua instruksi atau upaya untuk digerakkan , atau bergerak kearah yang berlawanan); Rigiditas (mempertahankan sikap tubuh yang kaku melawan upaya untuk menggerakkannya); Waxy fleksibilitas (mempertahankan posisi anggota gerak dan tubuh yang dilakukan dari luar); gejala lain seperti, otomatisme terhadap perintah dan peseverasi kata-kata serta kalimat.

Electro Convulsive Therapy (ECT)

Dalam dunia kedokteran ada dua macam syok listrik, yaitu syok listrik yang dibuat dengan tujuan tertentu dan syok listrik yang timbul tanpa tujuan yang jelas. Syok listrik dengan tujuan tertentu ini dikenal dengan nama ElectroConvulsiveTherapy (ECT).

Tabel 1. Resistensi Kulit/cm² dari luasan Elektroda⁸

No	KONDISI	RESISTENSI
1	Kulit Kering	93000 Ω
2	Kulit diolesi gel	10800 Ω
3	Kulit Basah	1000 Ω
4	ditekan ke kulit	200 Ω

Tempat pemasangan elektroda pada Os Frontalis dan Os Temporalis (pelipis) pada bagian skull (kepala), pada bagian ini tulangnya tipis dan tidak banyak ditumbuhi rambut, sehingga aliran listrik yang masuk tidak tertahan di kulit. Aliran yang masuk ini yang akan mempertinggi permeabilitas kapiler otak, sehingga terjadi pelebaran kapiler dari otak.

Anatomi Fisiologi Otak

Otak manusia merupakan system saraf pusat yang dilindungi oleh cairan otak (serebro spinalis) dan tulang tengkorak. Berat otak adalah 1500 gram dan otak pada bagian Temporal berfungsi sebagai pusat mengolah dari hasil pendengaran dan juga sebagai

tempat menyimpan ingatan dari pengalaman. Yang berfungsi sebagai pusat untuk menggerakkan tubuh dan proses berfikir yang meliputi konsentrasi, perencanaan, pengambilan keputusan serta kemampuan berbicara adalah pada otak bagian frontal. Parietal adalah merupakan bagian otak manusia yang berfungsi untuk menginterpretasikan tentang keindahan, misalnya mengenai kalimat, emosi, tekstur maupun permukaan suatu bidang. Sedangkan yang berfungsi yang berfungsi untuk mengolah suatu gerakan atau benda yang ditangkap oleh mata adalah bagian dari occipital. Insula adalah bagian otak yang berfungsi sebagai memori dan pengendali beberapa aktivitas.

Bioelektrik

Ada beberapa hukum dasar yang berkaitan dengan biolistrik ini, yaitu hukum Ohm dan hukum Joule. Hukum ohm dapat dinyatakan dalam suatu persamaan :

$$R = \frac{V}{I}$$

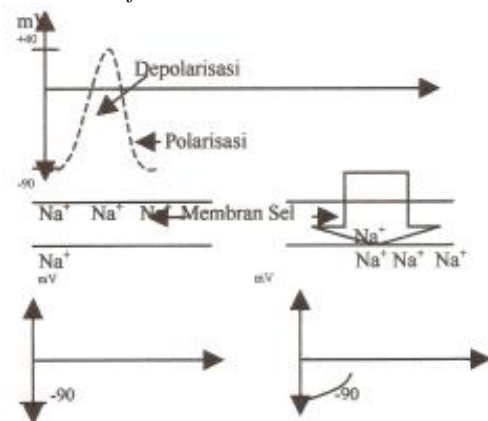
Dimana R adalah tahanan dalam Ohm (Ω), V adalah tegangan dalam volt dan I adalah arus dalam ampere.

Tabel 2. Efek pada manusia sebagai akibat terkena arus listrik dengan frekuensi 60 Hz⁷

No	ARUS	AKIBAT
1	1 - 8 mA	Timbul geli sampai dengan sensasi syok, yaitu dimana masih baik dan nyeri belum terjadi. Tegangan listrik yang mengalir di tubuh adalah sebesar 10 volt.
2	8 - 15 mA	Terjadi rangsangan syaraf dan otot sedemikian rupa sehingga terjadi nyeri dan letih. Penderita ini sukar atau tidak dapat menarik tangan kembali dan terjadi kontraksi otot tidak sadar yang menetap. Tegangan yang mengenai tubuh adalah 80 - 150 volt.
3	15 - 20 mA	Akan terjadi pernafasan tertahan apabila arus berlangsung terus menerus. Tegangan yang mengenai tubuh adalah 150 - 200 volt.
4	20 - 50 mA	Otot-otot mengalami kontraksi sangat kuat, pernafasan tampak sangat sulit. Tegangan yang

		melewati tubuh adalah 200 - 500 volt.
5	< 100 mA	Bagian arus yang melewati jantung cukup menyebabkan fibrilasi ventrikel (nilai ambang fibrilasi 70 - 400 mA) dan akan mengalami kematian apabila tidak dilakukan koreksi.
6	6 Ampere	Terjadi kontraksi miocard yang menetap dan terjadi paralyse pernafasan dan bila arus listrik diberhentikan secara tiba-tiba akan terjadi defibrilasi ventrikel. Tegangan melewati tubuh adalah 60 kvolt.
7	10 Ampere	Pada waktu sekejap akan menyebabkan kebakaran pada kulit, otak dan jaringan saraf akan kehilangan fungsi kejutan apabila ada arus yang melewatinya.

Kelistrikan Saraf



Gambar 1. Polarisasi dan Depolarisasi sel sebagai reaksi adanya listrik yang mengenai sel.

Suatu saraf atau membran otot dalam keadaan istirahat, konsentrasi ion Na^+ lebih banyak berada diluar sel daripada di dalam sel, sehingga di dalam sel menjadi lebih negatif daripada diluar sel. Jika perbedaan potensial ini diukur dengan menggunakan galvanometer akan mencapai -90 mV. Apabila ada suatu rangsangan terhadap membran dengan mempergunakan listrik, maka butir-butir membran akan berubah dan beberapa ion Na^+ akan masuk dari luar sel ke dalam sel. Akibatnya di dalam sel menjadi kurang negatif daripada di luar sel dan potensial membran meningkat. Pada keadaan ini, membran dikatakan dalam keadaan depolarisasi. Jika rangsangan yang timbul cukup kuat mencapai titik tertentu (titik ambang) sehingga dapat menimbulkan

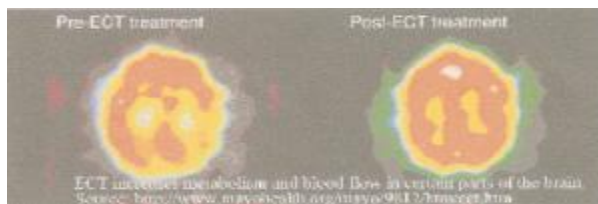
depolarisasi membran, maka proses depolarisasi ini menjadi berkelanjutan dan irreversible, ion-ion Na^+ akan mengalir ke dalam sel secara cepat dan dalam jumlah yang banyak. Pada keadaan ini, potensial membran akan naik dengan cepat mencapai overshoot +40 mV. Segera setelah depolarisasi mencapai puncak mekanisme pengangkutan, di dalam sel membran dengan cepat mengembalikan ion Na^+ keluar sel sehingga mencapai potensial membran istirahat (-90 mV) dan proses ini disebut polarisasi.

Adapun ilustrasi sebagai akibat adanya stimulus listrik dari luar pada sel ditunjukkan seperti Gambar 1.

PERANCANGAN DAN PEMODELAN SISTEM ECT

Aliran Darah dalam Pembuluh

Dengan adanya ECT akan meningkatkan aliran darah ke otak, hal ini dapat dibuktikan dengan hasil foto Magnetic Resonance Imaging (MRI) ditunjukkan seperti pada gambar 2, berikut.



Gambar 2. Hasil foto otak terhadap sirkulasi darah dengan MRI pada kondisi sebelum dan setelah penggunaan ECT¹.

Menurut poiseuille, bahwa cairan yang mengalir melalui suatu pipa berbanding langsung dengan penurunan tekanan sepanjang pipa dan pangkat empat dari jejari pipa. Dalam hal ini, hanya berlaku jika aliran ini dalam bentuk laminar dan harga Re (Reynold) = 2000.

$$Q = \frac{\pi^4 (P_1 - P_2)}{8\eta L}$$

Dimana ;

V = Flow rate (jumlah zat cair per detik)

η = Viskositas

L = Panjang dalam pembuluh

P_1, P_2 = Tekanan (darah = $3 - 4 \times 10^{-3} \text{ Pa} = \text{Nm}^{-2}$)

Hukum poiseuille tampak seperti hukum ohm, yang dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut

$$V = E = I \times R$$

Tegangan = $P_1 - P_2$

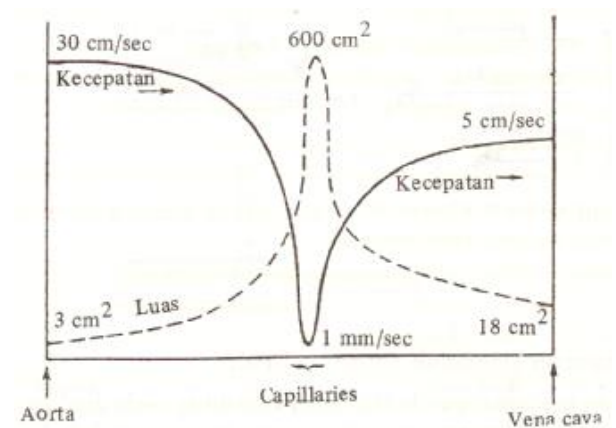
i = Arus listrik = flowrate(η)

R = Tahanan = $\frac{8\eta L}{\pi r^4}$ dalam satuan NSm

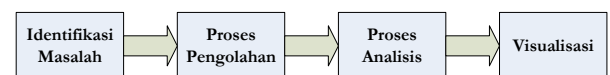
Efek diameter pembuluh terhadap debit, bahwa zat cair yang melewati pembuluh akan dihambat oleh dinding pembuluh, artinya aliran zat cair akan makin cepat pada pembuluh dengan diameter semakin besar.

ANALISA STATISTIK

Kegiatan suatu penelitian ada kalanya dimaksudkan untuk menguji keadaan atau sesuatu yang terdapat di dalam suatu kelompok dengan kelompok lain. Jika hal ini yang menjadi tujuan penelitian, maka teknik statistik yang berupa uji beda adalah tepat untuk menguji apakah terdapat perbedaan diantara kelompok yang diujikan tersebut. Teknik statistik untuk uji beda dimaksudkan adalah T - Test, ANOVA (Analyses of Variance) dan Chi Square (Chi kuadrat). Untuk pengujian dengan kelompok sampel dua atau lebih dapat digunakan ANOVA atau dapat dikatakan bahwa ANOVA ini merupakan T - Test yang diperluas. Sebagai acuan dalam melakukan kegiatan proses analisis diperlukan suatu bentuk blok diagram proses. Adapun blok diagram proses yang dimaksud ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 3. Hubungan antara Kecepatan darah dengan luas seluruh penampang⁷.



Gambar 4. Blok diagram Analisis

Parameter yang berpengaruh pada Proses Analisis

Dalam proses analisis selalu ada faktor yang mempengaruhi pada proses analisis itu sendiri. Adapun faktor yang mempengaruhi tersebut adalah untuk keadaan awal sampel dalam skala GAFT dan jumlah sampel yang relatif sedikit. Rentang ukur dalam memberikan nilai bagi perkembangan pasien adalah antara 1 sampai dengan 4, semakin besar nilainya maka perkembangan pasien semakin kearah baik. Secara umum tingkat perkembangan pasien yang diukur adalah:

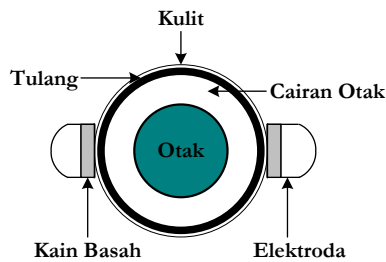
1. Keadaan gaduh gelisah termasuk excitement, grimacing dan stereotype (kuisioner nomer 1, 6, dan 8).
2. Stupor termasuk mutism dan staring (kuisioner nomer 2, 3, dan 4).
3. Berpose atau echolalia dan mannerism (kuisioner nomer 7 dan 9).
4. Verbigeration dan withdrawal/Negativism (kuisioner nomer 10 dan 12).
5. Rigiditas (kuisioner nomer 11).
6. Catalepsi dan waxy Flexibility/Refleks (kuisioner nomer 5 dan 14).

Analisis Keluaran Sistem ECT

Dengan menggunakan Multimeter Digital Merk Metrik DT – 830B didapatkan bahwa output dari ECT merk Siemens type konvulsator 622 adalah sebesar 109 volt. Dengan aliran arus yang berbeda setiap masing-masing tingkatan. Adapun besarnya aliran arus pada tiap tingkatan seperti ditunjukkan dalam tabel 3.

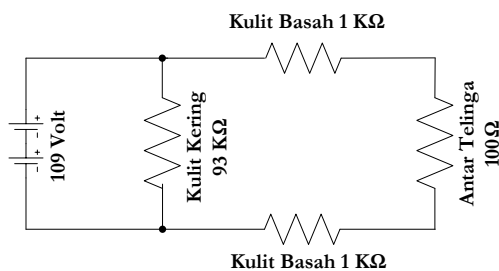
Tabel 3. Besar arus tiap tingkatan ECT Siemen Konvulsator 622

No	TINGKATAN	ARUS (mA)
1	1	3
2	2	10
3	3	13
4	4	15
5	5	18
6	6	21
7	7	28
8	8	38
9	9	51



Gambar 5. Pemodelan sistem pemasangan elektroda

Adapun pemodelan sistem, ditunjukkan pada gambar 5 diatas dan jika dibuat suatu model matematik dalam rangkaian listrik ditunjukkan seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Model rangkaian listrik ekuivalen dengan proses ECT kepala

Sebagai acuan bahwa dalam terapi ini menggunakan tingkatan ke – 3, artinya aliran arus maksimum adalah 13 mA. $R_{Total}=2500\Omega$, $V_{input}=109 V_{DC}$, maka didapatkan bahwa arus yang mengalir melewati rangkaian adalah sebesar ;

$$i_{Headskin} = \frac{v}{R_{Dryskin}} = \frac{109}{93000} = 1,2mA$$

$$i_{Brain} = i_{Source} - i_{Headskin} = 11,8mA$$

maka dengan diketahui arus yang melewati otak sebesar 11,8 mA dan resistensi antara telinga kanan

(100 Ω) serta resistensi kulit basah (1000 Ω) maka didapatkan bahwa tegangan di otak sebesar 24,78 volt. Akibatnya sel otak mengalami peningkatan aktivitas listrik (depolarisasi) akibat tegangan yang melewatinya sebesar 24,78 volt, dimana batas overshoot membran sel adalah + 40 mvolt dan dalam keadaan normal gelombang otak memiliki tegangan antara 10 sampai 100 mvolt.

Mengacu pada hukum poiseuille dalam hubungannya dengan hukum ohm, dimana :

$E = P_1 - P_2 = 24,78$ dan dengan luas keseluruhan penampang kapiler sebesar 600 cm², sedangkan jejaringnya 6×10^{-4} cm, maka panjang dari pembuluh kapiler di otak sebesar 160 cm.

Dari hukum poiseuille didapatkan bahwa besarnya hambatan pada pembuluh kapiler adalah sebesar ;

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4} = \frac{8 \times 3 \times 10^{-3} \times 1,60}{3,14 \times (6 \times 10^{-4})^4}$$

$$R = 9,436 \times 10^{18} NSm^{-5}$$

$$R = 9436 NSmm^{-5}$$

Sehingga didapatkan bahwa flow rate darah dalam kapiler adalah sebesar 2,626 mm/detik, berarti mengalami peningkatan kecepatan sebesar 262%. Jika dihubungkan dengan efek diameter pembuluh terhadap debit dimana semakin besar pembuluh maka semakin besar debit maka ada suatu fenomena bahwa dengan diberikan ECT maka akan terjadi peningkatan debit aliran yang diikuti dengan meningkatnya depolarisasi dari membran sel termasuk didalamnya depolarisasi membran pembuluh darah.

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisis Sistem Terapi Pemberian Obat

Tabel 4. Keadaan sebelum & setelah pemberian obat pada sampel uji

	K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7	
	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
Px1	3	3	2	2	2	2	1	1			1	1	1	1
Px2	2	2	3	3							1	1	1	1
Px3	2	2	3	4	2	2	1	2			1	2	1	2
Px4	3	3	2	2					1	2				

	K8		K9		K10		K11		K12		K13		K14	
	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
Px1	1	1			2	2								
Px2					3	3			2	2				
Px3					2	2			2	2				
Px4	3	3			1	1					3	3		

Dimana : K1, K2,..K12 = Kuestioner nomer 1, 2,...12; P = Sebelum

Px1, 2, 3 = Pasien 1, 2, 3 dengan terapi ECT ; N = Setelah

Angka numerik 1, 2, dan 4 merupakan pembobotan, dimana angka 4 adalah bobot tertinggi.

Berpedoman pada tabel 2, untuk validitas pengujian maka untuk pasien pasca pemberian obat yang diuji adalah pasien ECT yang mengalami gangguan pada nomer kuesioner saja, sedangkan gejala yang negatif tidak diikuti pengujian. Adapun keadaan sebelum dan setelah terapi ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 5. Hasil uji Anova pada penderita dengan perlakuan diberi obat

Group	Count	Sum	Average	Variance
Sebelum	28	52	1,85714	0,6455
Setelah	28	57	2,03571	0,62831

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P value	F crit
Between Groups	0,446	1	0,44643	0,70093	0,406	4,02
Within Group	34,39	54	0,6369			
Total	34,84	55				

Analisis Sistem Terapi ECT

Adapun keadaan sebelum dan setelah terapi ECT adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Keadaan sebelum dan setelah ECT pada sampel uji.

	K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7	
	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
Px1					1	4	1	3					1	4
Px2	2	3	3	3	2	4	3	3			1	4	1	3
Px3	3	4	3	4	3	4	3	4					2	4

	K8		K9		K10		K11		K12		K13		K14	
	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N
Px1					1	3			1	4				
Px2					2	2	3	4						
Px3	2	3			2	4			2	3				

Dimana : K1, K2,...K12 = Kuesioner nomer 1, 2, ...12;
P = Sebelum

Px1, 2, 3 = Pasien 1, 2, 3 dengan terapi ECT ; N = Setelah

Angka numerik 1, 2, dan 4 merupakan pembobotan, dimana angka 4 adalah bobot tertinggi. Adapun uji Anova yang dilakukan dengan nilai confidence value 95% dengan memasukkan semua indikator yang bermasalah dari setiap sampel, didapat hasil yang ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji Anova pada penderita dengan perlakuan ECT

Group	Count	Sum	Average	Variance
Sebelum	21	42	2	0,7
Setelah	21	74	3,5238	0,3619

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P value	F crit
Between Groups	24,381	1	24,381	45,919	3,8E-08	40,847
Within Group	21,238	40	0,531			
Total	45,619	41				

Analisis Sistem ECT dan Sistem Terapi Obat

Perbandingan secara lebih terinci dapat ditunjukkan pada tabel 8, berikut ini.

Tabel 8. Analisis Sistem ECT dan Sistem Terapi Obat

No	INDIKATOR	ECT		TERAPI OBAT	
		Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
1	Rerata	2	3,524	1,857	2,036
2	F Hitung	45,919		0,7	
3	F Tabel	40,847		4,0	
4	P Value	3,8E-8		0,406	
5	Gaduh Gelisah	ECT ke 2-3 (2-8 hari)		6-128 hari	
6	Eksresi Wajah	ECT ke 2 (\pm 3 hari)		6 hari	
7	Stupor	ECT ke 2-4 (2-12 hari)		17 hari	
8	Mimicing	ECT ke 2-4 (2-11 hari)		17 hari	
9	Pengaturan posisi tubuh	Tidak ada gejala		13 hari	
10	Kemampuan verbal	ECT ke 2 (\pm 3 hari)		Tidak ada gejala	
11	Kemauan makan	ECT ke 2 (\pm 3 hari)		Tidak ada gejala	
12	Mempertahankan sikap				
	tubuh yang kaku	Tidak ada gejala		Tidak ada gejala	
13	Mempertahankan posisi				
	tubuh yang dilakukan				
	dari luar	Tidak ada gejala		13 hari	

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan ECT sebagai salah satu bentuk pengobatan dapat meningkatkan polarisasi dari membran sel sampai dengan +24,78 volt untuk pengaturan pilihan dosis tingkatan ke 3 dari nilai overshoot otak sebesar +40 mvolt dan mampu mempercepat aliran darah di pembuluh kapiler pada keadaan yang sama dari 1 mm/detik menjadi 2,626 mm/detik.
2. Dengan uji Analisis Varian (Analyses of Variance) didapatkan hasil bahwa ElectroConvulsiveTherapy sebagai salah satu metode untuk pengobatan penderita gangguan jiwa Schizophrenia jenis katatonik lebih menunjukkan hasil sangat signifikan dengan perbandingan antara F_{Tabel} dengan F_{Hitung} 5% sebesar 4,08 dibandingkan dengan 45,919 adalah merupakan suatu beda yang sangat besar.
3. Terapi dengan menggunakan obat-obatan melalui uji ANOVA didapatkan hasil signifikan 5% dengan perbandingan antara F_{Hitung} dengan F_{Tabel} adalah 0,7009 dengan 4,024.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrew B. Hollander, 2002, Electroconvulsive Therapy, The Canadian Psychiatric Association's Statement about Electroconvulsive Therapy, www.Google.com
- Benedict Carey, 2004, Shock Therapy Makes Comeback But Remains Controversial, The Seattle Times, Los Angeles Times, www.Google.com
- Burhan Nurgiyanto, Gunawan, Marzuki, 2002, Statistik Terapan, Gadjah Mada University Press.
- Elektromedis, 1974, Petunjuk Penggunaan Elektro Shock, RSJP Lawang, Malang.
- Fink, c/o David Healy, 1996, Bush-Francis Catatonic Rating Scale (BFCRS), www.Google.com
- Irawan Sardi, 2003, Pemrograman VBA pada Microsoft Excell untuk Otomatisasi I Pekerjaan, Elexmedia Computindo, Jakarta.

- JF Gabriel, 1996, Fisika Kedokteran, Buku Kedokteran ECG, Jakarta.
- LA, Gedde, LE Baker, 1989, Principles of Applied Biomedical Instrumentation, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- K. Girish, Neeraj S. Gill, 2003, Electroconvulsive Therapy in Lorazepam Non Responsive Catatonia, Indian Journal of Psychiatry, www.Google.com
- Leslie Cromwell, 1973, Biomedical Instrumentation & Measurements, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Maramis, WF, 1983, Catatan Ilmu Kedokteran Jiwa, Fakultas Kedokteran Airlangga, Airlangga University Press.
- Martini, 1989, Fundamentals of Anatomy & Physiology, Printice Hall, New Jersey.
- Richard Aston, 1990, Principle of Biomedical Instrumentation & Measurements, Pennsylvania State University.
- Rockville, MD, 2004, Electroconvulsive Therapy; Consensus Development Conference Statement, National Institute of Mental Health, www.Google.com

PENGENDALIAN DAN MONITORING LAMPU LALU LINTAS BERBASIS PLC SIEMENS S7-200

Franky Chandra Satria Arisgraha
Departemen Fisika Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
e-mail: frankysatria@gmail.com

ABSTRAK

Lampu lalu lintas sangat bermanfaat bagi pengguna-pengguna kendaraan di jalan raya ketika menjumpai pertigaan atau perempatan jalan dalam kondisi lalu lintas padat. Hal ini sebagai upaya dalam mengurangi resiko kemacetan atau kekacauan di jalan raya yang dapat timbul apabila lampu lalu lintas tidak berfungsi dengan baik. Oleh karena itu lampu lalu lintas perlu dikendalikan dan dimonitoring dengan baik agar pengguna jalan raya dapat merasa nyaman, perjalanan lancar dan tidak macet. Monitoring lampu lalu lintas dapat bermanfaat agar ketika terjadi kerusakan atau masalah pada lampu lalu lintas dapat segera dideteksi. PLC merupakan suatu alat yang dapat digunakan dalam pengendalian atau otomasi. Pada penelitian ini, pengendalian lampu lalu lintas dengan menggunakan PLC Siemens S7-200 ini telah dapat dilakukan dalam bentuk prototype lampu lalu lintas. Pengendalian dan monitoring lampu lalu lintas dilakukan dengan menggunakan PC yang dihubungkan dengan PLC Siemens S7-200. PLC Siemens S7-200 dihubungkan pula dengan rangkaian prototype lampu lalu lintas. Hasil pengendalian dan monitoring prototype lampu lalu lintas sesuai dengan perintah yang dilakukan telah dapat berjalan sesuai perintah.

Kata Kunci : PLC Siemens S7-200, Lampu Lalu Lintas.

PENDAHULUAN

Lampu lalu lintas saat ini sering dijumpai di pertigaan atau perempatan jalan raya. Lampu lalu lintas ini dipasang agar tidak terjadi kekacauan di jalan raya ketika dalam kondisi padat kendaraan serta agar tidak terjadi kecelakaan di jalan raya. Perangkat yang mungkin digunakan dalam mengendalikan lampu lalu lintas yaitu dengan menggunakan perangkat yang dinamakan dengan Programmable Logic Controller (PLC). Penggunaan PLC dapat lebih bermanfaat apabila dapat dimanfaatkan dalam mengendalikan dan memantau lampu lalu lintas. PLC apabila dihubungkan dengan perangkat komputer dapat digunakan dalam memantau objek yang dikendalikan, dalam hal ini lampu lalu lintas.

TEORI

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan perangkat yang banyak digunakan dalam otomasi. Masukan atau keluaran PLC dapat dalam jenis analog atau digital sesuai dengan spesifikasi PLC yang digunakan. Beberapa merk PLC yaitu Siemens, Omron, Allen Bradley, dan Mitsubishi. PLC dibagi dalam dua tipe yaitu tipe Compact dan tipe Modular.

Pada PLC tipe Compact, PLC yang digunakan relatif sederhana karena sesuai dengan bawaan pabrik. Cara memprogram PLC jenis ini lebih mudah karena setting komponen sesuai dengan settingan pabrik. Kekurangan PLC jenis ini yaitu jumlah komponen input/output yang terbatas sehingga apabila pengguna ingin menggunakan lebih dari jumlah input/output pada tiap PLC jenis ini maka pengguna menambah PLC lagi.

Pada PLC tipe Modular, PLC yang digunakan lebih rumit daripada PLC dengan tipe Compact. Input/output PLC jenis Modular dapat dimodifikasi sesuai dengan jumlah input/output yang akan digunakan oleh pengguna dalam suatu batasan

jumlah input/output. Pada PLC tipe ini, input/output dipasang pada slot yang dipasang pada suatu rak. Jumlah slot dalam satu rak dapat berjumlah 7 buah. Tiap slot dapat berisi komponen input atau komponen output dalam suatu card. Card yang digunakan dapat berupa card input analog, card input digital, card output analog, atau card output digital sesuai dengan spesifikasi PLC yang digunakan sehingga apabila pengguna PLC ingin menggunakan komponen input/output dalam jumlah banyak atau lebih banyak daripada jumlah komponen input/output pada PLC dengan tipe Compact sesuai dengan batasan jumlah sesuai pada spesifikasi PLC yang digunakan maka PLC dapat dipasang dengan card input/output sesuai dengan kegunaan tidak perlu menambah PLC lagi. Kelemahan PLC dengan tipe Modular ini yaitu rumit, karena alamat input/output PLC disesuaikan dengan jenis input/output yang digunakan serta letak card pada slot pada rak yang digunakan.

Pabrikasi PLC bermacam-macam, misal Siemens, Omron, Allen Bradley, dan Mitsubishi. Cara kerja tiap-tiap merk PLC relatif mirip, beberapa hal penulisan program baik itu alamat atau nama komponen disesuaikan dengan merk PLC yang digunakan. Sebagai contoh, alamat input ditulis sebagai I dan alamat output ditulis sebagai Q pada PLC dengan merk Siemens. Alamat input ditulis sebagai X dan alamat output ditulis sebagai Y pada PLC dengan merk Mitsubishi.

Pemrograman pada PLC dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara sesuai dengan spesifikasi PLC yang digunakan. Beberapa cara pemrograman pada PLC yaitu dengan menggunakan diagram tangga atau ladder diagram, Full Block Diagram (FBD), atau Statement List (STL). Beberapa fungsi pemrograman pada PLC yaitu rangkaian logika, timer, counter, aritmatika, perbandingan, dan komunikasi serial.

METODE PENELITIAN

Pengendalian dan monitoring lampu lalu lintas dengan menggunakan PLC Siemens S7-200 melalui setting perangkat keras dan perangkat lunak. Dalam pemasangan perangkat keras, perangkat yang digunakan yaitu komputer, PLC, lampu. Komputer dihubungkan dengan PLC Siemens S7-200 dengan menggunakan Adapter. Adapter digunakan dalam komunikasi serial pada komputer dan PLC Siemens S7-200. Adapter dihubungkan dengan menggunakan kabel RS 232 kemudian dipasang ke komputer, dan Adapter dihubungkan dengan kabel RS 485 yang dipasang di PLC Siemens S7-200. Lampu yang digunakan sebagai prototype lampu lalu lintas dihubungkan ke PLC dengan menggunakan kabel ke komponen Relay yang telah dihubungkan ke komponen output pada PLC. Komponen output yang digunakan berjumlah 4 buah dihubungkan dengan lampu berwarna merah, kuning, dan hijau, serta sebagai tanda ketika otomatisasi lampu lalu lintas dalam kondisi aktif. Pengaktifan otomatisasi lampu lalu lintas dilakukan dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak dalam tampilan di layar komputer.

PEMBAHASAN

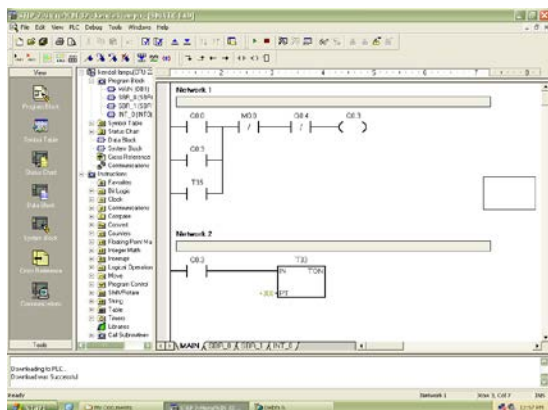
Hasil pengalaman pada PLC Siemens S-200 tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Alamat I/O PLC Siemens S7-200

No.	I/O	Alamat	Keterangan
1.	Output	Q0.0	Tanda Tombol "ON" diaktifkan
2.	Output	Q0.3	Lampu merah
3.	Output	Q0.4	Lampu kuning
4.	Output	Q0.5	Lampu Hijau

Alamat Q0.0 digunakan sebagai tanda ketika tombol "ON" pada HMI diaktifkan, alamat Q0.3, Q0.4, dan Q0.5 digunakan dalam menyalakan lampu. Keluaran PLC pada alamat Q0.3, Q0.4, dan Q0.5 digunakan sebagai masukan HMI.

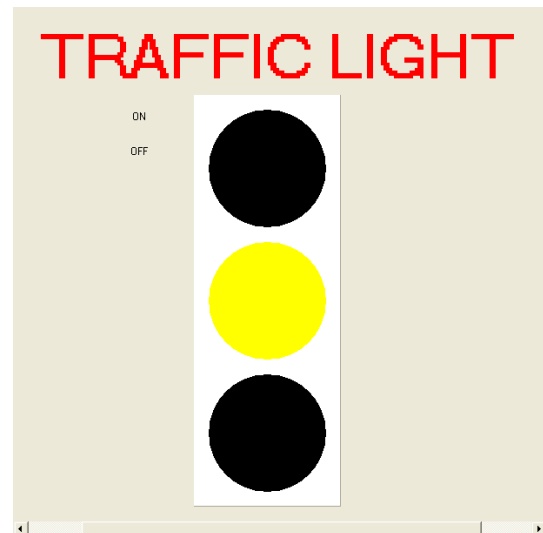
Hasil pemrograman PLC Siemens S7-200 dengan menggunakan diagram tangga tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan Program

Dalam diagram tangga mengandung rangkaian logika, fungsi timer, dan komunikasi serial pengiriman dan penerimaan data. Data yang diterima

pada komputer digunakan dalam menampilkan visualisasi prototype lampu lalu lintas melalui pengendalian dengan menggunakan PLC. Tampilan HMI Lampu lalu lintas tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan HMI

Pada Tampilan HMI, komponen yang digunakan yaitu tombol "ON", tombol "OFF", shape sebagai lampu berwarna merah, shape sebagai lampu berwarna kuning, dan shape sebagai lampu berwarna hijau. Melalui beberapa pengujian kadang hasil pembacaan data tidak sesuai dengan kondisi lampu. Hal ini mungkin dampak penekanan tombol sehingga pengiriman data kurang sesuai.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian pengendalian dan monitoring lampu lalu lintas dengan menggunakan PLC Siemens S7-200 dan Human Machine Interface (HMI) pada komputer maka prototype lampu lalu lintas dapat berjalan dengan baik, tetapi kecepatan pengiriman data pada komunikasi serial antar komputer dengan PLC Siemens S7-200 berpengaruh pada tampilan HMI. Kadang tampilan HMI tidak sesuai dengan hasil pengendalian.

DAFTAR PUSTAKA

- Sujatmoko, MN. Dasar-Dasar Control Component dan Sysmac. Department Manufacture Engineering PT. Omron Manufacturing of Indonesia. 2000.
- Chandra S.A., Franky. Petunjuk Praktikum PLC. Departemen Fisika Universitas Airlangga. 2012.

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI DAYA DAN WAKTU LASER DIODA SEBAGAI APLIKASI LASERPUNKTUR SECARA OTOMATIS

Dyah Wulan Putri Pradani^{*1}, Welina Ratnayanti K², Tri Anggono Prijo³

^{1,2,3}Program Studi Teknobiomedik fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga
Jalan Mulyorejo Surabaya 60115
Email : dyahwulan18@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan mendapatkan hubungan tegangan, arus dan daya keluaran laser serta mendapatkan kestabilan daya keluaran laser dan ketepatan energi pada perangkat laserpunktur. Pembuatan perangkat laserpunktur ini laserpunktur ini terdiri dari laser diode dengan panjang gelombang 650 nm dan daya keluaran laser maksimal 20 mW, rangkaian power supply, rangkaian LCD, rangkaian push button, rangkaian driver transistor. Beberapa rangkaian tersebut digunakan untuk sebuah system yang bekerja secara otomatis berbasis mikrokontroler. Terdapat beberapa pilihan energi untuk terapi pada perangkat ini yang dapat di set sesuai dengan kebutuhan yaitu 0,1 Joule, 0,5 Joule, 1 Joule dan 1,5 Joule. Data yang diperoleh dari penelitian diperoleh hubungan tegangan, arus dan daya keluaran. Diperoleh kestabilan daya yang cukup baik dan diperoleh ketepatan energi dengan keakuratan 98 %, 98,6%, 99 % dan 99,33 % masing-masing berurutan pada setiap pilihan energi.

Kata kunci : Laserpunktur, terapi laser, laser dioda, terapi otomatis

PENDAHULUAN

Kegunaan laser dalam bidang terapi ini digolongkan pada jenis terapi laser berdaya rendah atau disebut dengan Low Level Laser Therapy (LLLT)^[11]. Pada tahun 1970an, laser akupunktur klinis mulai ditetapkan. Studi yang dilakukan di Uni Soviet tersebut dilaporkan sukses pada terapi hipertensi dan asma. Laser ini dikenal dengan sebutan Laserpunktur^[19]. Laserpunktur merupakan teknik pemberian stimulasi pada titik akupunktur dengan menggunakan laser. Stimulasi yang dihasilkan oleh cahaya ini dapat merangsang perbaikan jaringan pada titik akupunktur. Terapi laser bekerja berdasarkan prinsip untuk merangsang sistem sel melalui transfer energi di dalam sel. Perubahan intensitas atau daya laser akan berpengaruh pada proses stimulasi pada titik akupunktur^{[1],[2]}.

Beberapa penelitian mengenai laserpunktur yaitu penelitian Fajarina, 2008 untuk mengetahui efektivitas terapi laserpunktur dengan variasi daya dan waktu dengan energi yang sama pada hewan coba mencit untuk memperbaiki sel beta pancreas^[10]. Kemudian Ningtyas, 2009 meneliti tentang pengaruh radiasi laser Helium Neon pada titik akupunktur Chung Wan dan Cu San Lie terhadap penurunan berat badan kelinci^[6]. Dan rancang bangun portable laserpunktur yang dilakukan oleh Supardi, A, dkk 2000^[14]. Penelitian tersebut menjadi sumber kajian untuk melakukan rancang bangun perangkat akupunktur laser sebagai pengganti jarum akupunktur tradisional, sehingga memudahkan pasien yang takut akan jarum.

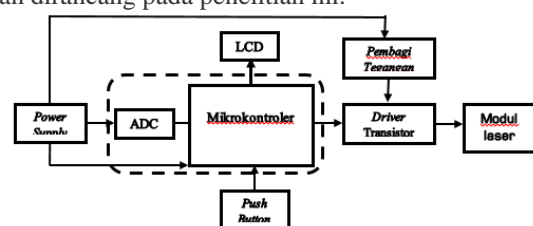
Peneliti mencoba untuk melakukan rancang bangun sistem instrumentasi menggunakan laser dioda dengan judul Rancang Bangun Sistem Pengendali Daya dan Waktu Pada Laser Dioda Sebagai Aplikasi Laserpunktur Secara Otomatis. Dalam penelitian ini dirancang suatu sistem pengendali daya keluaran laser yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Penetapan beberapa macam energi paparan dapat ditentukan dengan sebuah nilai tertentu pada tombol. Dengan menekan tombol setting energi dapat ditentukan proses

on off otomatis menggunakan mikrokontroler. Hasil akhir dari penelitian ini mengharapkan sebuah keluaran yang stabil dengan pengaturan daya sesuai kebutuhan penggunaan dan nilai kesalahan yang ditimbulkan kecil sehingga menunjukkan kinerja alat yang bekerja dengan baik.

METODE PENELITIAN

Perancangan Hardware

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat menghasilkan sebuah perangkat laserpunktur yang daya keluaran dapat diatur berdasarkan tegangan yang berubah dan energi terapi dapat diatur pada tombol yang berjalan secara otomatis berbasis mikrokontroler. Langkah awal yaitu perancangan dan pembuatan *power supply* untuk pembangkit laser dioda yang disesuaikan dengan spesifikasi dari laser dioda yang digunakan. Langkah selanjutnya yaitu perancangan dan pembuatan rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian ini berfungsi sebagai pemberi tegangan variabel artinya tegangan dapat diatur sesuai dengan keinginan. Kemudian terdapat sebuah mikrokontroler untuk mengatur dan mengolah data dengan menggunakan program yang dibuat. Dari mikrokontroler ini dapat ditambahkan LCD (*Liquid Cristal Display*) untuk menampilkan pengolahan data yang diinginkan. Sebelum masuk mikrokontroler kita dapat menggunakan ADC untuk mengonversi data *analog* ke bentuk *digital*. Kemudian merancang *driver transistor* yang berfungsi sebagai saklar untuk menyalakan dan mematikan laser diode. Dari uraian diatas dapat diperoleh diagram blok seperti pada Gambar 1 menunjukkan keseluruhan sistem yang akan dirancang pada penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Laser Dioda

Perancangan Software

Pada penelitian ini mengatur sistem instrumentasi laser diode supaya keluaran yang diinginkan adalah daya keluaran laser yang bisa berubah dan waktu paparan yang menentukan *on off* secara otomatis. Dapat dijelaskan bahwa pertama yang harus dilakukan adalah inisialisasi input dari ADC yaitu tegangan, potensiometer, button, dan bit. Kemudian inisialisasi output yaitu driver transistor. Proses konversi dilakukan oleh ADC yaitu mengubah tegangan menjadi data digital menurut bit yang digunakan. Setelah itu data diolah untuk menuju sistem laser agar bit ekuivalen dengan daya keluaran optik. Selanjutnya penetapan energi sebagai nilai *setting* dengan memasukkan rumus $E = P_{out} \cdot \Delta t$. Dengan didapat tegangan sebanding dengan daya keluaran laser maka pengaturan energi dapat dikondisikan sehingga daya keluaran dapat bervariasi. Apabila sudah terpenuhi maka sistem laser akan mati otomatis dan apabila belum terpenuhi sistem akan mengulang sampai terpenuhi.

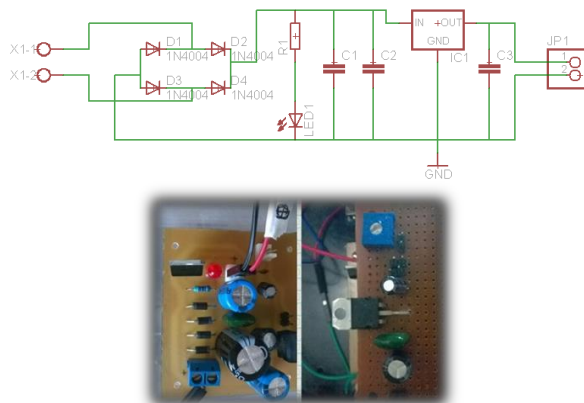
Tahap Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian *hardware*, pengujian *software* dan pengujian keefektifitasan perangkat laser diode. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah rangkaian bekerja dengan baik dan sesuai dengan harapan penulis. Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengujian tegangan, arus dan daya, kemudian uji karakteristik laser dioda, uji pengujian kestabilan daya berdasarkan waktu, uji ADC, uji ketepatan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembuatan Hardware

Rangkaian Power Supply



Gambar 2. Skematik dan Hasil Rangkaian Power Supply

Rangkaian *power supply* ini terdiri dari keluaran 5 volt dan 9 volt sesuai dengan kebutuhan. Rangkaian 9 volt digunakan untuk *supply* tegangan mikrokontroler arduino uno sedangkan rangkaian 5 volt digunakan untuk *supply* tegangan laser dioda. Tegangan keluaran ini merupakan tegangan yang disesuaikan berdasarkan spesifikasi laser dioda yang didapatkan. Perancangan skematik dan hasil rangkaian *power supply* ini disajikan pada Gambar 2.

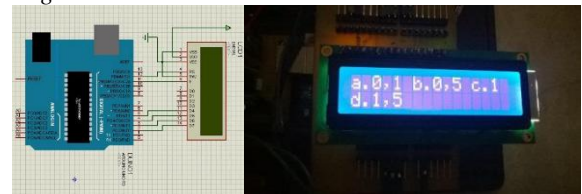
Rangkaian Mikrokontroler Arduino Uno

Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler arduino uno dimana arduino uno ini menggunakan mikrokontroler ATmega328, menghidupkan dan mematikan perangkat laser dengan mengaktifkan driver transistor yang berfungsi sebagai saklar, kemudian membaca nilai tegangan dari *power supply* untuk mengendalikan daya sehingga dapat diatur, serta menampilkan pemilihan energi pada LCD. Rangkaian arduino ini dapat disajikan pada Gambar 3



Gambar 3. Mikrokontroler Arduino Uno

Rangkaian LCD

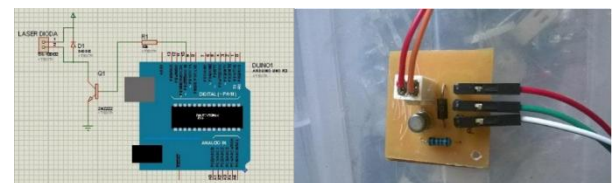


Gambar 4. Skematik dan Hasil Rangkaian LCD

LCD yang digunakan adalah ukuran 16 x 2 karakter. Rangkaian LCD pada penelitian ini digunakan untuk menampilkan hasil pemilihan energi dari laserpunktur. Skematik dan hasil dari rangkaian LCD ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.

Rangkaian Driver Transistor

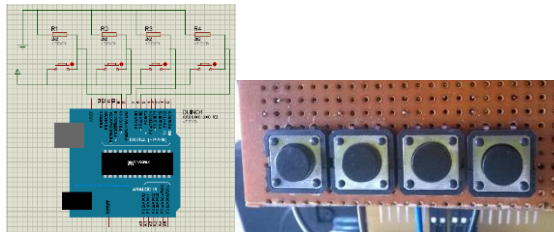
Dalam penelitian ini digunakan rangkaian *driver transistor* yang berfungsi sebagai saklar. Rangkaian ini terdiri dari resistor 1 kilo ohm, dioda, dan transistor NPN. Rangkaian *driver transistor* ini dihubungkan dengan mikrokontroler arduino. Skematik dan hasil rangkaian ini disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skematik dan Hasil Rangkaian Driver Transistor

Rangkaian Push Button

Pada perangkat yang telah dibuat digunakan juga rangkaian *push button*. Rangkaian ini terdiri dari resistor 1 kilo ohm dan *push button*. Rangkaian ini akan dihubungkan dengan mikrokontroler arduino pada pin digital. Rangkaian *push button* diperlukan untuk pemilihan energi terapi dari laserpunktur. Skematik dan Hasil rangkaian tersaji pada Gambar 6.



Gambar 6. Skematik dan Hasil Rangkaian Push Button

HASIL PEMBUATAN SOFTWARE

Pada penelitian Rancang Bangun Sistem Pengendali Daya dan Waktu Laser Dioda Sebagai Aplikasi Laserpunktur Secara Otomatis menggunakan *software* arduino yang memakai bahasa C. Adapun perangkat lunak yang telah dibuat meliputi pemrograman pembacaan tegangan, pemrograman pemilihan energi melalui *push button*, program pengendali *driver* transistor dan penentuan waktu *setting*.

Pengujian

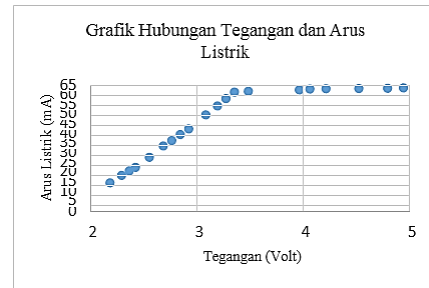
Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap pengujian perangkat, pengujian ini meliputi :

Pengujian Tegangan, Arus dan Daya

Tabel 1. Tabel Data Elektrik Tegangan, dan Daya Keluaran

No	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Daya Keluaran Laser(mW)
1	2.17	14.88	0.006
2	2.28	18.63	0.009
3	2.35	20.9	0.011
4	2.41	22.79	0.013
5	2.54	27.95	0.016
6	2.67	33.8	0.033
7	2.75	36.6	0.04
8	2.83	39.7	0.077
9	2.91	42.5	1.253
10	3.07	49.8	6.95
11	3.18	54.4	10.49
12	3.26	58.2	15.07
13	3.34	61.5	17.64
14	3.47	62	18.01
15	3.95	62.6	18.15
16	4.05	63.1	18.26
17	4.2	63.17	18.35
18	4.51	63.3	18.53
19	4.78	63.5	18.73
20	4.93	63.7	19.13

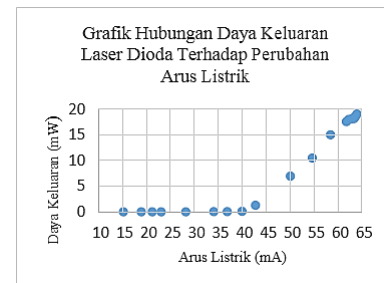
Pengujian ini untuk mengetahui apakah power supply yang digunakan sesuai untuk membangkitkan laser diode. Pada Tabel 1 data diambil mulai dari 2,17 volt dan arus 14,88 mA dikarenakan pada tegangan yang bernilai dibawah atau kurang dari 2,17 volt dan 14,88 mA daya laser keluaran kurang dari 0,006 mW, hal ini dikarenakan laser dapat dibangkitkan dengan tegangan diatas 2,17 volt dan 14,88 mA. Sehingga dapat di gambarkan sebuah grafik hubungan tegangan dan arus listrik seperti yang tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hubungan Tegangan dan Arus Listrik

Uji Karakteristik Laser Dioda

Karakterisasi laser dioda diperlukan untuk mengetahui karakter dari laser yang digunakan. Salah satu karakteristik yang dimiliki oleh laser dioda adalah adanya perubahan intensitas apabila diberi arus listrik yang berbeda. Pada data di tabel 1, penarikan grafik dari data arus dan daya keluaran laser menghasilkan grafik karakteristik seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan Daya Keluaran Laser Dioda Terhadap Perubahan Arus Listrik

Dari data yang telah didapatkan, menunjukkan kinerja laser dioda tersebut berada pada range 40-65 mA. Dalam hal ini batas ambang arus laser dioda yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekitar 40 mA sesuai dengan spesifikasinya.

Uji Pengujian Kestabilan Daya Berdasarkan Waktu

Pengujian daya ini bertujuan untuk mengetahui kestabilan daya keluaran laser tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya penurunan tegangan dan arus listrik pada sistem *hardware*. Pengujian ini mengamati perubahan daya setiap beberapa detik. Peneliti mengambil waktu 30 detik setiap perubahan tegangan. Berdasarkan pada data yang sudah diperoleh tersebut daya keluaran laser dengan tegangan sekitar 3,05 volt perubahan daya antara 5,47-6,13 mW. Kemudian pada tegangan sekitar 3,2 volt perubahan daya sebesar 11,31-12,54 mW. Selanjutnya dengan pengamatan pada tegangan 3,82 volt perubahan daya mencapai kisaran 18,03-18,12 mW. Lalu pada 4,23 volt daya yang dihasilkan sebesar 18,35-18,18,57 mW. Dengan menambah tegangan mencapai 4,51 perubahan daya berkisar 18,63-18,78 mW. Dan sampai pada tegangan 4,83 daya keluaran bernilai antara 18,82-19,01 mW. Perubahan- perubahan ini cenderung stabil karena perbedaan daya keluaran tidak turun dengan signifikan pada saat tegangan yang ditentukan.

Uji ADC

Pengujian ini dilakukan dengan membaca sebuah tegangan masukan yang diberikan sehingga dapat terbaca oleh mikrokontroler. Data pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Baca Tegangan ADC

No	Data Bit	Data Tegangan (V)	Tegangan Teori (V)	% error
1	13	0.06	0.06	0
2	25	0.12	0.12	0
3	107	0.52	0.52	0
4	150	0.74	0.73	1.36
5	211	1.03	1.03	0
6	248	1.22	1.21	0.82
7	338	1.64	1.65	0.6
8	383	1.87	1.87	0
9	409	2.00	1.99	0.5
10	445	2.17	2.17	0
11	486	2.37	2.37	0
12	536	2.65	2.62	1.14
13	654	3.19	3.19	0
14	717	3.50	3.50	0
15	792	3.89	3.86	0.77
16	825	4.05	4.02	0.74
17	904	4.23	4.22	0.23
18	934	4.56	4.56	0
19	963	4.70	4.70	0
20	1011	4.95	4.93	0.40
Rata-rata				0.328

Dari data tersebut didapatkan pembacaan data tegangan dengan menggunakan ADC memperoleh prosentase kesalahan (error) sebesar 0,328 %. Dengan keakuratan pengukuran ADC yaitu 99,672 %.

Uji Ketepatan Energi

Untuk mempermudah pengujian, peneliti membagi rentang waktu berdasarkan perubahan tegangan. Dari kelima *setting* waktu tersebut masing-masing memiliki nilai yang akan disesuaikan dengan perhitungan energi terapi laser yang dibuat sebagai nilai *setting* dengan rumus :

$$E = P \times \Delta t$$

dengan E adalah energi, P adalah daya keluaran laser dan Δt merupakan *setting* waktu. Dalam hal ini daya keluaran laser dapat diatur sesuai dengan tegangan yang berubah. Terdapat empat buah tombol yang disediakan untuk memilih energi pemaparan laser, yaitu *Button1* untuk energi 0,1 Joule, *Button2* untuk energi 0,5 Joule, *Button3* untuk energi 1 Joule, dan *Button4* untuk energi 1,5 Joule. Nilai –nilai energi tersebut dianggap sebagai variabel bebas. Pengujian ini dilakukan untuk setiap *button* dan menghasilkan data sebagai berikut :

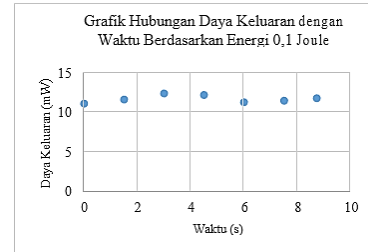
a. Button 1 mewakili energi 0,1 Joule

Tabel 3. Data Waktu Pada Energi 0,1 Joule

No	Waktu Ukur (s)	Daya Keluaran (mW)
1	0	11.05
2	1.5	11.56
3	3	12.34
4	4.5	12.14
5	6	11.23
6	7.5	11.41
7	8.73	11.73

Dari data Tabel 3, dapat diperoleh grafik seperti pada Gambar 9 dapat dianalisis menggunakan

perhitungan luasan tiap pias menggunakan rumus trapesium. Gambar tersebut mewakili energi pada *button 1*. Dari grafik tersebut didapatkan luasan total sebesar 0,098. Dari jumlah luas tiap pias tersebut dapat dibandingkan dengan energi yang di inputkan. Dan terdapat kesalahan sebesar 2 % sehingga keakuratannya mencapai 98 %.



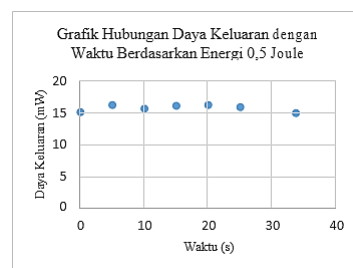
Gambar 9. Grafik Hubungan Daya Keluaran dengan Waktu Berdasarkan Energi 0,1 Joule

b. Button 2 mewakili energi 0,5 Joule

Tabel 4. Data Waktu Pada Energi 0,5 Joule

No	Waktu Ukur (s)	Daya Keluaran (mW)
1	0	15.03
2	5	16.17
3	10	15.58
4	15	16.05
5	20	16.15
6	25	15.83
7	33.67	14.87

Dari data Tabel 4, dapat diperoleh grafik seperti pada Gambar 10 dapat dianalisis menggunakan perhitungan luasan tiap pias menggunakan rumus trapesium. Gambar tersebut mewakili energi pada *button 2*. Dari grafik tersebut didapatkan luasan total sebesar 0,493. Dengan membandingkan energi dan luasan grafik yang didapatkan maka dapat dihasilkan kesalahan sebesar 1,4 % sehingga keakuratan mencapai 98,6 %.



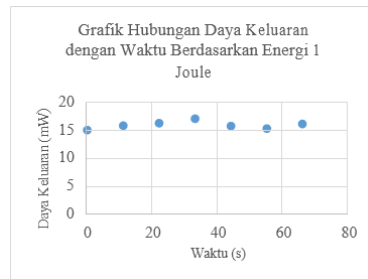
Gambar 10. Grafik Hubungan Daya Keluaran dengan Waktu Berdasarkan Energi 0,5 Joule

c. Button 3 mewakili energi 1 Joule

Tabel 5. Data Waktu Pada Energi 1 Joule

No	Waktu Ukur (s)	Daya Keluaran (mW)
1	0	15.01
2	11	15.77
3	22	16.23
4	33	17.03
5	44	15.69
6	55	15.27
7	65.82	16.1

Dari data Tabel 5, dapat diperoleh grafik seperti pada Gambar 11 dapat dianalisis menggunakan perhitungan luasan tiap pias menggunakan rumus trapesium. Gambar tersebut mewakili energi pada *button* 3. Dari grafik didapatkan luasan sebesar 0,99. Dengan membandingkan energi dan luasan grafik yang didapatkan maka dapat dihasilkan kesalahan sebesar 1 % sehingga keakuratan mencapai 99 %.



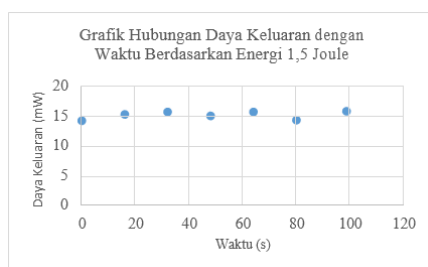
Gambar 11. Grafik Hubungan Daya Keluaran dengan Waktu Berdasarkan Energi 1 Joule

d. *Button 4* mewakili energi 1,5 Joule

Tabel 6. Data Waktu Pada Energi 1,5 Joule

No	Waktu Ukur (s)	Daya Keluaran (mW)
1	0	14.51
2	16	15.57
3	32	16.01
4	48	15.35
5	64	16.02
6	80	14.63
7	98.68	14.13

Dari data Tabel 6, dapat diperoleh grafik seperti pada Gambar 12 dapat dianalisis menggunakan perhitungan luasan tiap pias menggunakan rumus trapesium. Gambar tersebut mewakili energi pada *button* 3. Dari grafik didapatkan luasan sebesar 1,49. Dengan membandingkan energi dan luasan grafik yang didapatkan maka dapat dihasilkan kesalahan sebesar 0,666 % sehingga keakuratan mencapai 99,33 %.



Gambar 12. Grafik Hubungan Daya Keluaran dengan Waktu Berdasarkan Energi 1,5 Joule

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Mendapatkan hubungan antara tegangan, arus, dan daya keluaran laser yaitu dengan tegangan yang berubah semakin besar tegangan listrik yang

dihasilkan semakin besar pula arus dan daya keluaran laser. Sebaliknya jika tegangan diperkecil maka besarnya nilai arus dan daya keluaran laserpun ikut menurun.

2. Mendapatkan hasil kestabilan daya keluaran laser yang cukup baik dan tidak turun atau naik secara signifikan. Mendapatkan ketepatan energy terapi dengan presentase kesalahan sebesar 2 % sehingga keakuratannya mencapai 98 % pada pilihan energi 1, kesalahan sebesar 1,4 % sehingga keakuratan mencapai 98,6 % pada pilihan energi 2, kesalahan sebesar 1 % sehingga keakuratan mencapai 99 % pada pilihan energi 3 dan kesalahan sebesar 0,666 % sehingga keakuratan mencapai 99,33 % pada pilihan energi 4.

UCAPAN TERIMAKASIH

1. Ir. Welina Ratnayanti K sebagai dosen pembimbing I.
2. Drs. Tri Anggono Prijo sebagai dosen pembimbing II.
3. Teman-Teman Teknobiomedik 2010

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amaro. John, 2010, *Acupuncture and Low-Level Laser Light*, Acupuncture Today, January (2010), **Vol. 11, Issue 01**.
- [2] Block. E. F, 2010, *Low-Level Laser Acupuncture Treatment In The Clinical Application of The Five Shu Points*, The Journal of Bioelectromagnetic Medicine, **Volume. 22**.
- [3] Budiharto. Widodo, 2010, *Elektronika Digital dan Mikroprosesor*, Yogyakarta : Andi.
- [4] Gridling. G, Weiss. B, 2007, *Introduction to Microcontrollers*, Courses 182.064 & 182.074, Vienna University of Technology, Institute of Computer Engineering, Embedded Computing System Group.
- [5] J. Singh, 2001, *Semiconductor Devices Basic Principles*, John Wiley & Sons, New York, p.460.
- [6] Ningtyas. L. Aprilia, 2009, *Pengaruh Radiasi Laser He-Ne pada Titik Akupunktur Cung Wan dan Cu San Lie Terhadap Penurunan Berat Badan Kelinci (Oryctolagus Cuniculus)*, Skripsi FSaintek, UNAIR, Surabaya.
- [7] Paschotta. Rudiger, 2008, *Encyclopedia of Laser Physics and Technology*, **Volume 1**, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [8] Perdana. B, 2009, *Rancang Bangun Sistem Laser Gallium Alumunium Arsenide untuk Terapi Penyembuhan Luka Pasca Pencabutan Gigi*, Skripsi FTI-Teknik Fisika, ITS, Surabaya.
- [9] Poole. Ian, http://www.radioelectronics.com/info/data/semicond/laser_diode/laser_diode.p hp (diakses pada tanggal 5 Desember 2013)
- [10] Ria. Fajarina, 2008, *Optimasi Daya, Perulangan Terapi dan Waktu Paparan Laserpunktur pada Mencit untuk Normalisasi Sel Beta Pankreas sebagai Pemasok Insulin*, Skripsi FSaintek, UNAIR, Surabaya.
- [11] Rogers. Cameron, 2012, *Developing Computer Controlled Laser Systems for Double Blind*

- Acupuncture Trials, Thesis Faculty of Science, University of Technology, Sidney.
- [12] Ruilliere, C. 2003. Femtosecond Laser Pulses : Principles and Experiments Second Edition. Springer Science + Business Media, LCC. United States of Amerika.
- [13] Saputra K, Indrayanti A. 2005. Akupunktur Dasar. Surabaya : Airlangga University Press. [14] Supardi, A. dkk, 2000, Rancang Bangun Portabel Laserpunctur, Fakultas MIPA, Universitas Airlangga.
- [15] Sutrisno, 1986, Elektronika : Teori Dasar dan Penerapannya, Penerbit ITB : Bandung. [16] Suyono. dan Tim Pusdiklat MasterNusa, 2003, Panduan Praktis Mikrokontroler AT89S51, <http://IlmuKomputer.com>. (diakses tanggal 18 Desember 2013).
- [17] Tokheim, Roger. L, 1990, Digital Electronics, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [18] Valchinov. S. E and Pallikarakis. E. N, 2005, Design and Testing of Low Intensity Laser Biostimulator, Biomedical Engineering Online 2005, 4:5.
- [19] Whittaker, P. 2004. Laser Acupuncture : Past, Present, and Future. Laser in Medical Science. 19 : 69-80.

SISTEM PESAWAT TRIKOPTER BERBASIS ARDUPILOT MENGGUNAKAN KAMERA GOPRO SEBAGAI PEMANTAU KEAMANAN LOKASI

Sigit Wasista, Setiawardhana

Program Studi Teknik Komputer

Departemen Teknik Informatika dan Komputer

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email: wasista@eepis-its.edu, setia@eepis-its.edu

Abstrak

Pesawat tanpa awak trikofter dapat digunakan untuk melakukan pemantauan keamanan suatu lokasi dengan menggunakan kamera. Trikofter dapat memantau dengan menerima dan mengirimkan gambar ke sentral secara wireless. Penelitian ini mengembangkan penelitian sebelumnya tentang pendaratan otomatis trikofter. Trikofter dipasang sebuah kamera yang dapat mengirimkan gambar secara wireless. Ketinggian penerbangan diubah ubah dan dilakukan untuk pengujian ketajaman atau kepresisian gambar. Pengujian terhadap sistem trikofter terprogram dengan kendali mikrokontroler Ardupilot dilakukan terhadap lokasi di titik tertentu berdasarkan GPS dan mengamati kelayakan hasil monitoring gambar dengan kamera GOPRO.

Kata Kunci : Trikofter, Ardupilot, Kamera, Pemantauan Lokasi

PENDAHULUAN

Sistem pertahanan dan keamanan Negara Indonesia harus semakin ditingkatkan. Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pendaratan. Penelitian ini bertujuan membuat kontribusi dengan menambahkan kamera sebagai alat pantau yang data gambarnya dikirim secara wireless. Obyek yang digunakan adalah pesawat tanpa awak Trikofter. Tinjauan sistem sebelumnya adalah referensi dari para peng-hobi pesawat tanpa awak. Sumber yang ada berasal dari <http://bsiswoyo.lecture.ub.ac.id/category/hobby/>. Peneliti bertujuan untuk membuat sistem mekanika, elektronika dan Informatika. Penggabungan ketiganya pada sistem trikofter terprogram dengan kendali Ardupilot. Penelitian yang menunjang diantaranya adalah Cuevas et al membuat sistem prediksi dengan neuro fuzzy, Kashima et al membuat sistem pendeteksi pergerakan iris mata, Keni Bernardin et al membuat sistem pendeteksi otomatis manusia dengan kamera, Yang et al mendeteksi wajah manusia, tulisan tentang Pertahanan Negara mengenai arah-Pembangunan-Jangka-Panjang-Bidang-Pertahanan-Negara, Setiawardhana et al membuat Robot Cerdas Pemadam Api Menggunakan Kamera dengan Logika fuzzy, Setiawardhana et al membuat sistem pendeteksian wajah dengan kamera PTZ dengan adaptive neuro fuzzy, Vamsi et al membuat robot otomatis dengan logika fuzzy, Jang et al membangun sistem ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. Penelitian tersebut menunjang penelitian trikofter ini.

SISTEM PESAWAT TRIKOPTER

Teknologi Trikofter

Teknologi pesawat tanpa awak sebelumnya pernah dikembangkan oleh Dr. Ir Endra Pitowarno, M.Eng, yaitu Quadcopter untuk memantau lalu lintas. Penelitian sebelumnya pernah dikembangkan oleh Teppo Luukkonen, yaitu "Modelling and control of quadcopter", yaitu teknik kontrol quadcopter dengan menggunakan metode control Proporsional Derivative atau PD. Setiawardhana, membangun robot cerdas

pemadam api menggunakan kamera dengan Logika fuzzy, setiawardhana membuat Sistem Penjejakan Wajah Menggunakan Kamera PTZ dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy*, setiawardhana membuat sistem penjejakan wajah menggunakan kamera PTZ dengan metode *MIMO Adaptive NeuroFuzzy*. Sistem pendaratan yang telah dibangun oleh Sigit Wasista dan Setiawardhana, dengan memperhatikan metode pendaratan atau pencapaian target dilakukan dengan pemrograman terhadap ardupilot dengan cara :

- Menentukan koordinat Target (H)
- Membaca data koordinat posisi trikofter
- Menghitung jarak target dengan trikofter
- Mengarahkan trikofter ke target
- Mendaratkan trikofter



Gambar 2.1. Pencapaian Target dari Home – Target – Home

dimana koordinat:

- latitude = garis lintang (horizontal),
- longitude = garis bujur (vertikal)

Perhitungan jarak koordinat dilakukan dengan cara "simultan euclidian distance" sebagai berikut :

- ▶ koordinat A(1.1) dan B(10.13)
- ▶ $x_1=1$; $x_2=10$; $y_1=1$; $y_2=13$
- ▶ maka, jaraknya (r) adalah :
Euclidean adalah jarak "ordinary" antara dua titik yang dapat diukur dengan penggaris, berikut ini diberikan formula Pythagoras:

$$r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$r = \sqrt[3]{(10-1)^2 + (13-1)^2}$$

$$r = \sqrt[3]{81 + 144} = 15$$

Hasil Penelitian Trikofter, dengan remote terpasang untuk pengendaliannya dan PC untuk mengamati hasil pemantauan dengan menggunakan kamera seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Trikofter (Tampak Atas)



Gambar 2.3.. Pesawat Trikofter (Tampak Depan)



Gambar 2.4. Mesin Elektronika Pesawat Trikofter.

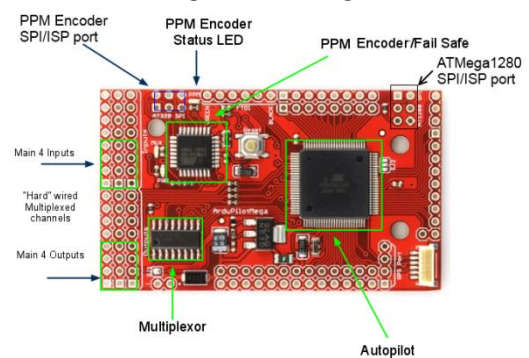


Gambar 2.5. Sayap Kiri Pesawat Trikofter

Sistem Terbenam Terpadu

Sistem embedded sering disebut dengan sistem terbenam. Pengertian istilah lebih jauh akan diulas dengan bersumber pada ["http://id.wikipedia.org/wiki/Sistem_benam"](http://id.wikipedia.org/wiki/Sistem_benam). Dicuipik dari situs web tersebut sebagai berikut : "**Sistem benam** adalah sistem komputer tujuan-khusus, yang seluruhnya dimasukkan ke dalam alat yang dia kontrol. Kata benam (*embedded*) menunjukkan bahwa sistem ini merupakan bagian yang tidak dapat berdiri sendiri. Sebuah sistem benam memiliki kebutuhan tertentu dan melakukan tugas yang telah diset sebelumnya, tidak seperti komputer pribadi serba guna. Contoh sistem atau aplikasinya antara lain adalah instrumentasi medik, *process control*, *automated vehicles control*, dan perangkat komunikasi. Sistem benam biasanya diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler. Sistem mikro yang digunakan berbasis arduino dengan sistem kontrol menggunakan logika fuzzy. Sistem perangkat prosessor yang dikembangkan seperti pada gambar 2.6.

Sistem bekerja dengan dengan mengkolaborasikan beberapa sensor untuk mendapatkan keseimbangan, pengaturan kecepatan putar motor, pengatur ketinggian dan tingkat kewaspadaan juga pemantauan dengan kamera, menerima dan mengirimkan data gambar.



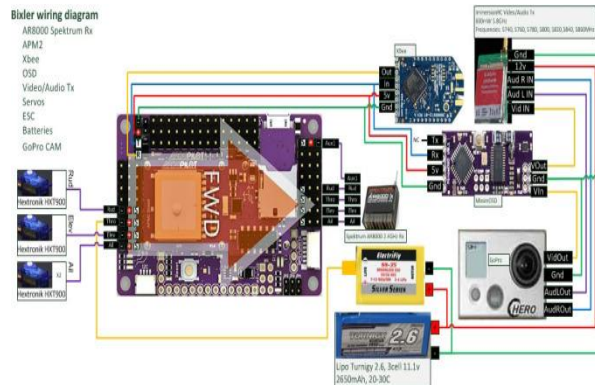
Gambar 2.6. Embedded System: Ardupilot

Sistem Kamera

Sistem trikofter yang telah dibangun di tahun pertama dikembangkan dengan pemasangan kamera GOPRO agar dapat melakukan pemantauan wilayah



Gambar 2.6. GoPro Camera



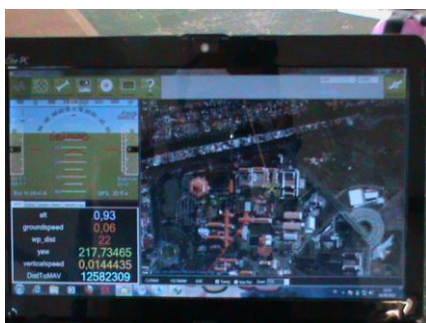
Gambar 2.7. Sistem Pemantau Kamera

Kamera yang digunakan seperti pada gambar 2.6 dengan pemabahan GOPRO Cam.

PENGUJIAN SISTEM LOKASI PEMANTUAN DAN KAMERA

Pengujian Sistem Pemantauan Wilayah Berdasar Lokasi GPS

Sistem ini dapat memantau wilayah sesuai lokasi GPS yang telah ditentukan. Penerbangan dilakukan dengan cara menggunakan RC Control terlebih dahulu. Setelah pengujian tidak mengalami permasalahan, penerbangan digantikan dengan Ardupilot. Pengujian dengan RC dilakukan dengan inisialisasi semua periperal yang ada pada ardupilot secara *online arduino*. Sistem secara otomatis dideteksi dan dibaca posisi sekarang dengan menggunakan GPS yang ada. Sistem juga secara otomatis membaca sensor kemiringan dan posisi dengan kompas digital. Pesawat trikopter menuju lokasi GPS yang ditentukan dan memantau wilayah di daerah yang telah ditentukan tersebut.



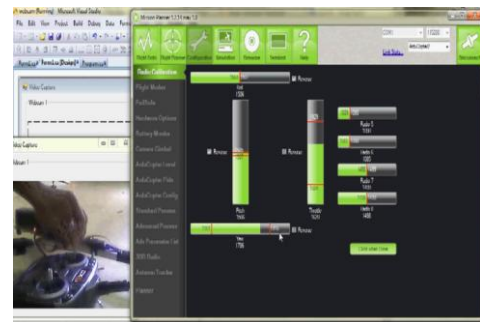
Gambar 3.1. Inisialisasi Ardupilot Online



Gambar 3.2. Penentuan Titik Pantau



(a) Pengujian Lokasi Pemantauan



(b) Pengujian Sensor Pemantauan

Gambar 3.2. Pengujian Lokasi dan Sensor

Penentuan titik pantau wilayah dilakukan dengan memberikan tanda dilokasi program APM kemudian trikopter akan menuju lokasi dan mengamati lokasi dengan menggunakan kamera GOPRO

Pengujian Kamera

Pengujian kamera dilakukan dengan pemantauan wilayah. Pesawat dipasang kamera GOPRO seperti pada gambar 3.3 dan hasil pemantauan cukup jelas dengan ketinggian sampai 10 meter seperti pada Gambar 3.4.



Gambar3.4. Pemasangan Kamera GOPRO



Gambar 3.4. Ketinggian Maksimal (Atap Gedung Baru PENS, ± 10 meter)



Gambar 3.5. Gambar Gedung PENS

Pengembangan selanjutnya adalah untuk penjejakan wajah dengan pesawat tanpa awak seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Sistem Penjejak Wajah

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem yang telah dibangun dapat melakukan pemantauan lokasi dengan cukup baik dengan gambar yang masih cerah di ketinggian 10 meter dan kondisi cuaca cerah di pagi hari (07:00 WIB). Saran pengembangannya adalah untuk melakukan penjejakan wajah mengikuti wajah manusia untuk mengejar target yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- C.M. Wang, Y.T. Hsu (2003), "A Robust Real Time Moving Object Tracking Algorithm with a PTZ Camera for Surveillance Applications", 16th IPPR conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (CVGIP 2003), 2003/8/17-19, Kinmen, ROC.
- E.V. Cuevas, D. Zaldivar, R.Rojas (2004), "Neurofuzzy prediction for visual tracking", Institut fur Informatik Freie Univesitat Berlin, Germany, 1st International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2004.
- H. Kashima, H. Hongo, Kunihito Kato, Kazuhiko Yamamoto (2002), "An Iris Detection Method Using the Hough Transform and Its

Evaluation for Facial and Eye Movement", The 5th Asian Conference on Computer Vision, 23—25 January 2002, Melbourne, Australia, ACCV2002.

Keni Bernardin, Florian van de Camp, Rainer Stiefelhagen, "Automatic Person Detection and Tracking using Fuzzy Controlled Active Cameras", Proc.CVPR07, pp.1-8, 2007

M.H. Yang, D.J. Kriegman, N. Ahuja (2002), "Detecting Faces in Images : A Survey", IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol 24, No.1 January 2002.

PertahananNegara,

"<http://www.scribd.com/doc/55356658/47/Arah-Pembangunan-Jangka-Panjang-Bidang-Pertahanan-Negara>"

R.S. Feris, T.Ed Campos, R.M.C. Junior (2000), "Detection and Tracking of Facial Features in Video Sequences", Dept of Computer Science DCC-IME-USP, Univefsity of Sao Paulo, Springer-Verlag press, MICAI-2000, Acapulco.

Setiawardhana, Riyanto Sigit, Dadet Pramadihanto, "Robot Cerdas Pemadam Api Menggunakan Kamera dengan Logika fuzzy", International Conference, ICICI, ITB Bandung, 2007

Setiawardhana, Sigit Wasista, Djoko Purwanto, "Facial Tracking using PTZ Camera withMIMO Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", International Fuzzy System Assosiation – IFSA and AFSS, International Joint Conference, Surabaya – Bali, Indonesia 2011.

Setiawardhana, Djoko Purwanto, " Rancang Bangun Sistem Penjejakan Wajah Menggunakan Kamera PTZ dengan metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System", MEETAS 2010, Universitas Maranatha, Bandung.

Sukumar Kamalasadan, Adel A. Ghandakly, Khalid Al-Olimat, FUZZY LOGIC BASED MULTIPLE REFERENCE MODEL ADAPTIVE CONTROL, Dept. of Electrical Engineering and Comp. Science, University of Toledo, Toledo, Ohio, 43606, USA

T. Funahasahi, M. Tominaga, T. Fujiwara, H. Koshimizu (2004), "Hierarchical Face Tracking by using PTZ Camera", Proceeding of the sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR 04)

T. Sawangsri, V. Patanavijit, and S. Jitapunkul (2005), "Face Segmentation Using Novel Skin-Color Map and Morphological Technique", Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology, Vol.2, January 2005, ISSN 1307-6884.

Vamsi Mohan Peri, Dan Simon, Fuzzy Logic Controller For Autonomous Robot, Department of Electrical and Computer Engineering,

- Cleveland State University,
Cleveland, Ohio, USA.
- Vinod Kumar, R.R.Joshi, Hybrid Controller based
Intelligent Speed Control of Induction Motor
,Journal of Theoretical and Applied
Information Technology 2005
- Jyh-Shing, R Jang, “ANFIS : Adaptive-Network-Based
Fuzzy Inference System”, Dept. of Electrical
Engineering and Computer Science,
University of California, Berkeley, CA
94720.
- Setting up your own Tricopter,
<http://rcexplorer.se/Educational/triguide/triguide.html>.
- The Tricopter V2
build,<http://rcexplorer.se/projects/TriV2/TriV2.html>
- The Tricopter V2.5 build,
<http://rcexplorer.se/projects/tricopterv25/tricopterv25.html>
- Tricopter,
<http://bsiswoyo.lecture.ub.ac.id/category/hobby/>

BIOFOURTAH : INOVASI MOTOR 4-TAK BERBAHAN BAKAR BIOGAS DAN BENJIN DENGAN PENERAPAN *FLASBACK ARESTORE SAVETY DEVICE* PADA KARBURATOR

Yousida Hariani

Fisika, Sains dan Teknologi Universitas Airlangga
yousidah@gmail.com

ABSTRAK

Krisis energi yang terjadi di Indonesia semakin meningkat, terbukti dengan kenaikan harga bahan bakar minyak yang signifikan setiap tahunnya, dan di dukung dengan meningkatnya jumlah konsumsi bahan bakar oleh masyarakat. Penggunaan bahan bakar didominasi oleh kendaraan bermotor terutama sepeda motor yang mencapai 78,62 persen. Disisi lain Indonesia memiliki potensi sumber energi alternatif yang sangat melimpah, energi alternatif tersebut membutuhkan teknologi tepat guna untuk mengaplikasikannya. Salah satunya adalah sebagai bahan bakar. Maka terciptanya Biofourtak yang di inovasikan dengan penambahan FASD (Flashback Arestore Safety Device) pada output karburator, pengurangan (reduce) panjang katup gas, dan penyesuaian (adjustment) baut pengatur bahan bakar bensin. Sehingga Biofourtak dapat bekerja dengan dua jenis bahan bakar yang berbeda yaitu biogas dan bensin, yang menjembatani transisi peralihan bahan bakar bensin ke bahan bakar biogas. Biofourtak juga merupakan kendaraan masa depan yang mengaplikasikan biofuel terutama biogas sebagai bahan bakar yang dapat membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada bahan bakar fosil di Indonesia.

Kata Kunci : Biofourtak, Biogas, Ramah Lingkungan

PENDAHULUAN

Motor merupakan sebuah alat transportasi pilihan yang digunakan oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Motor juga kendaraan yang praktis dan efisien sehingga cocok digunakan oleh berbagai kalangan masyarakat. Selain itu motor banyak menjadi pilihan karena motor merupakan kendaraan yang bisa menembus kemacetan yang sering terjadi di kota-kota besar. Di Indonesia, telah banyak beredar jenis motor dari berbagai produsen motor luar negeri. Jenis motor yang banyak digunakan di Indonesia adalah jenis motor bebek 4-tak. Motor 4- tak (*Four stroke engine*) merupakan motor inovasi yang dikeluarkan oleh para produsen motor.

Motor 4-tak memiliki perbedaan dengan jenis-jenis motor lainnya. Perbedaan ini terdapat pada sistem mesin motor yang memerlukan empat proses langkah naik-turun piston, dua kali rotasi kruk as, dan satu putaran *noken as* (*camshaft*) untuk menghasilkan sebuah tenaga. Empat proses tersebut terbagi dalam beberapa siklus diantaranya ;proses hisap, proses kompresi, proses usaha, proses buang(Irawan, 2011). Pada umumnya motor ini memiliki bentuk motor yang ramping dan ringan. Hal ini membuat motor terasa lebih lincah dan cocok digunakan pada lalu lintas yang padat. Berdasarkan riset yang telah dilakukan, terbukti bahwa motor 4-tak memiliki konsumsi BBM yang lebih irit dibandingkan dengan jenis kendaraan bermotor lainnya. Hal ini disebabkan sistem pembakaran pada mesin motor lebih konstan. Sekarang telah muncul mesin motor 4-tak dengan sistem pembakaran *injection*. Sistem pembakaran *injection* menyebabkan konsumsi BBM motor semakin irit karena sistem pembakarannya lebih sempurna. Dari data penjualan sepeda motor 4-tak yang dikeluarkan Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI), dapat dilihat penjualan motor sudah mencapai 78, 62 persen. Total penjualan sepeda motor di Indonesia telah lebih dari 3,5 juta unit hanya dalam tempo tujuh bulan, dari Januari hingga September 2012 (Prasetyo, 2012).

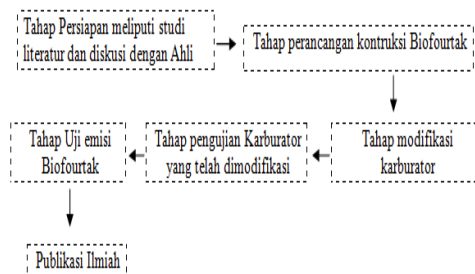
Walaupun motor 4-tak memiliki tingkat konsumsi BBM yang lebih irit, namun bahan bakar yang digunakan oleh motor adalah bensin, yang merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga bila digunakan secara terus-menerus pada masa yang akan datang habis juga. Selain itu, bahan bakar bensin juga menghasilkan emisi gas yang tidak ramah lingkungan. Data dari Bank Dunia menyebutkan bahwa komposisi dari kerusakan lingkungan akibat dari pembakaran bahan bensin pada enam kota di negara berkembang yang dipantau adalah 68% berdampak pada kesehatan, 21% berdampak pada perubahan iklim dan 11% berdampak pada aspek lainnya (Lusiana, 2011).

Inovasi penggunaan bahan bakar terbaharukan telah lama mencuat dipermukaan dengan berbagai versi, akan tetapi modifikasi komponen dari sistem pembakaran belum menjawab standarisasi keamanan dalam kendaraan sehingga tidak sedikit masyarakat enggan berpindah dari bahan bakar bensin ke bahan bakar terbaharukan. Penerapan *Flasback Arestore savety Device* (FASD) Pada output karburator motor yang merupakan komponen utama dalam proses pencampuran udara dan bahan bakar menjadi salah satu inovasi dari Biofourtak, dengan demikian terdapat dua bahan bakar *Dwifuel* yang dapat di aplikasikan pada satu motor. Biofourtak bertujuan untuk menjembatani masa transisi masyarakat dari penggunaan bahan bakar bensin ke bahan bakar biogas. Dimana biogas merupakan bahan bakar yang berpotensi. Keunggulan-keunggulan dari biogas menjadikan biogas sebagai salah satu kandidat sumber energi masa depan. Biogas dapat mengurangi emisi gas hasil pembakaran bahan bakar minyak yang dapat menyebabkan polusi udara di lingkungan. Biogas memiliki banyak keuntungan baik digunakan sebagai bahan bakar dalam bentuk campuran atau murni. Panas penguapan yang tinggi, titik nyala yang rendah, perubahan volume gas yang besar, nilai kalor pembakaran spesifik yang tinggi, angka oktan yang tinggi dan karakteristik lainnya memungkinkan

biogas dapat mencapai efisiensi yang cukup tinggi (15%). Selain itu biogas merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui. Biogas dapat diproduksi dari kotoran hewan ternak, sehingga dalam jangka panjang sangat memungkinkan jika biogas diproduksi secara masal dan harga dari biogas menjadi lebih terjangkau. Sehingga hal ini sangat memungkinkan biogas bisa digunakan sebagai salah satu energi pada masa depan khususnya digunakan sebagai bahan bakar. aplikasi *biofuel* terutama biogas yang saat ini masih tergolong rendah. Padahal telah banyak peneliti dan pengusaha yang membuat biogas. Namun, biogas ini masih belum dijadikan sebagai bahan bakar utama pada kendaraan bermotor. Pengaplikasian biogas pada kendaraan transportasi ini, akan membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada bahan bakar dari fosil di Indonesia. Dengan demikian upaya penghematan energi di Indonesia dapat terlaksana.

METODE

METODE PELAKSANAAN BIOFOURTAK:



Gambar 1. Metode Pelaksanaan Biofourtak

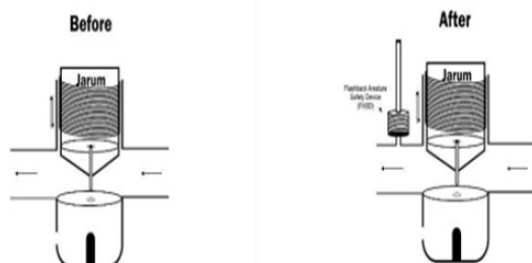
TAHAP PERSIAPAN

Studi Literatur

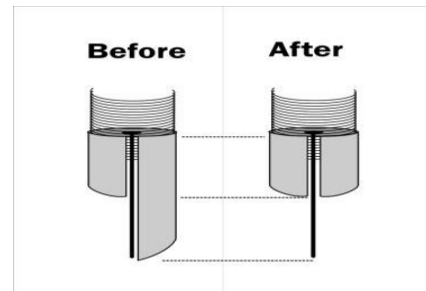
Tahap ini merupakan serangkaian kegiatan penelusuran literature atau sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi. Membahas teori-teori mengenai cara kerja mesin motor serta kekurangan dan kelebihan nya.

Tahap Perancangan Konstruksi Biofourtak

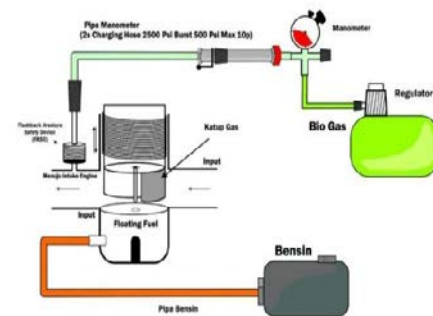
Tahap ini merupakan pembuatan desain konstruksi karburator yang digunakan pada motor. Bertujuan agar memudahkan saat pembuatan dan perakitan karburator.



Gambar 2. Penerapan *Flashback Arrestor safety Device* pada output Karburator



Gambar 3. pengurangan (*reduce*) panjang katup gas



Gambar 4. Konstruksi Biofourtak



Biofourtak

TAHAP MODIFIKASI KARBURATOR

Pada tahap ini dilakukan inovasi karburator motor secara mekanik pada kerja karburator. Inovasi karburator dengan cara penambahan FASD (*Flashback arestore safety device*) pada output karburator, melakukan pengurangan (*reduce*) panjang katup gas, dan melakukan penyesuaian (*adjustment*) baut pengatur bahan bakar bensin.

TAHAP PENGUJIAN KARBURATOR YANG TELAH DIMODIFIKASI (BIOFOURTAK)

Pada tahap ini dilakukan pengujian Biofourtak pada motor 4-tak untuk mengetahui kesesuaian Biofourtak pada motor 4-tak. disamping itu pengujian dilakukan secara *dwifuel* dengan menggunakan bahan bakar biogas dan bahan bakar bensin.



TAHAP UJI EMISI BIOFOURTAK

Pada tahap ini dilakukan uji emisi Biofourtak untuk mengetahui kadar emisi bahan bakar biogas dan bensin.



AGS-688

Emisi Bensin	Emisi Biogas
CO : 3.07 %	CO : 0.09 %
HC : 1454 ppm	HC : 138 ppm
CO2 : 19.3 %	CO2 : 6.3 %
O2 : 1.14 %	O2 : 9.57 %

TAHAP PUBLIKASI

Jawa Pos tanggal 20 Agustus 2014 Kolom Pendidikan (*Terlampir*)

Suara Merdeka tanggal 9 Oktober 2014 Kolom Edukasi (*Terlampir*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biofourtak merupakan inovasi motor 4-tak yang berbahan bakar biogas dan bensin (*dwifuel*) artinya dimana Biofourtak dapat bekerja dengan bahan bakar bensin dan bahan bakar biogas yang ramah lingkungan. Biofourtak adalah prototype kendaraan masa depan yang mampu menjawab semua masalah yang dikeluhkan masyarakat pada era ini. Inovasi ini dapat memenuhi permintaan dan selera pasar yang sangat tinggi terhadap motor. Di samping itu, alat transportasi ini juga dapat dijadikan sebagai salah satu aplikasi *biofuel* terutama biogas yang saat ini masih tergolong rendah. Sehingga biogas dapat dijadikan sebagai bahan bakar utama pada kendaraan bermotor. Pengaplikasian biogas pada kendaraan transportasi ini akan membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada bahan

bakar dari fosil di Indonesia. Dengan demikian upaya penghematan energi di Indonesia dapat terlaksana.

Adapun dalam proses pembuatan Biofourtak adalah mendesain konstruksi karburator dan inovasi Biofourtak. Inovasi yang pertama dengan menambahkan FASD (*Flashback Arrestor Safety Device*) pada output karburator, hal ini dimaksudkan agar terdapat saluran penghubung antara tabung gas dengan karburator sebagai proses awal dalam proses pencampuran bahan bakar dan udara, selain itu difungsikan agar udara dan bahan bakar biogas tercampur dengan sempurna. Penempatan FASD (*Flashback Arrestor Safety Device*) pada output karburator juga dimaksudkan agar tidak terjadi pencampuran dua bahan bakar yang berbeda. Inovasi Biofourtak kedua adalah dengan melakukan *reduce* pada katup gas karburator, hal ini dimaksudkan untuk penambahan udara luar karena biogas membutuhkan udara lebih banyak dalam proses pembakaran. Dan inovasi ketiga adalah melakukan penyesuaian (*adjustment*) pada baut pengatur bahan bakar bensin hal ini dimaksudkan agar Biofourtak dapat bekerja secara *dwifuel*, karena dengan penyesuaian baut pengatur bahan bakar bensin dapat menambah volume bensin yang keluar. Langkah selanjutnya adalah membuat komponen penunjang Biofourtak yaitu berupa perakitan Regulator, Regulator AC, manometer dan 2 selang, komponen penunjang ini difungsikan untuk mengatur tekanan biogas yang masuk dalam karburator oleh manometer dan sebagai saluran masuk biogas pada karburator oleh selang, selang yang di gunakan adalah selang dengan type pipa manometer (2s charging Hose 2500 Psi Burst 500 Psi Max 10p) yang mampu menahan tekanan 40-50 Psi.

Proses selanjutnya adalah melakukan pengujian Biofourtak pada motor 4-tak untuk mengetahui kesesuaian biofourtak pada motor 4-tak. disamping itu pengujian dilakukan secara *dwifuel* dengan menggunakan bahan bakar biogas dan bahan bakar bensin. Pada tahap pengujian ini didapatkan hasil bahwa Biofourtak merupakan prototype motor 4-tak yang aplikatif sekaligus dapat bekerja dengan *dwifuel*

Mekanisme Biofourtak saat menggunakan bahan bakar biogas adalah mula-mula menghubungkan FASD (*Flashback Arrestor Safety Device*) pada output karburator dengan tabung biogas menggunakan komponen penunjang, dengan mengatur pada manometer untuk memberi tekanan 30-40 Psi kemudian biogas akan mengalir pada karburator yang selanjutnya bercampur dengan udara dari luar, *swicht* pada karburator diatur *off* untuk menutup katup pada tangki *fuel* karburator, sehingga pada output karburator terjadi pencampuran bahan bakar biogas dengan udara luar dan diteruskan ke *intec manifold* dalam bentuk uap yang akan terjadi proses pembakaran untuk menggerakan mesin motor 4-tak. Sedangkan jika Biofourtak menggunakan bahan bakar bensin *swicht* diatur *on* untuk membuka katup pada tangki *fuel* karburator, dengan begitu mempermudah bahan bakar bensin bercampur dengan udara dari luar yang akan terbentuk uap dan diteruskan ke *intec manifold*. Pada

dasarnya Biofourtak menggunakan prinsip hukum Bernaulli.

Untuk mengetahui kadar bahan bakar biogas dan bensin dilakukan uji emisi pada kedua bahan bakar tersebut. Bahan bakar biogas dihasilkan CO 0.09%, HC 138 ppm, CO₂ 6,3 % , O₂ 9,57 %. Sedangkan untuk bahan bakar bensin menghasilkan CO 3,07%, HC 1454 ppm, CO₂ 19,3 % , O₂ 1,14 %. Hal ini menunjukan bahwa hasil emisi dari bahan bakar biogas lebih ramah lingkungan dibanding dengan bahan bakar bensin. Maka sudah saatnya bahan bakar bensin beralih pada bahan bakar biogas, selain ramah lingkungan biogas juga sangat mudah didapatkan. Kendaraan motor-tak berbahan bakar biogas merupakan kendaraan yang layak sebagai kendaraan masa depan, Sehingga dapat membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada bahan bakar dari fosil di Indonesia. Dengan demikian upaya penghematan energi di Indonesia dapat terlaksana.

KESIMPULAN

Biofourtak merupakan inovasi motor 4-tak berbahan bakar biogas dan bensin dengan penerapan *flasback Arestore Savety Device (FASD)* yang dapat bekerja ndengan dua jenis bahan bakar yang berbeda yaitu bahan bakar bensin dan bahan bakar biogas. Biofourtak merupakan kendaraan masa depan yang mengaplikasikan *biofuel* terutama biogas sebagai bahan bakar yang dapat membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada bahan bakar fosil di Indonesia

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah, ucapan terimakasih disampaikan kepada Orang tua yang selalu memberi dukungan penuh dan doa yang tiada henti, Bapak Supadi S.Si.,M.Si. selaku dosen pembimbing dan Berbagai pihak yang telah membantu proses terselesaikannya Program Biofourtak ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Irawan, Indra. 2011. Uji Emisi Penggunaan dari Limbah Nanas sebagai Campuran Premium pada Sepeda Motor Yamaha Vega-R. Skripsi Program S1 Pendidikan Teknik Mesin: Universitas Negeri Surabaya
- Lestari, Puji, dkk. 2007. Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Bensin Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Mesin Bensin (otto) Pada Siklus Urban (UC) dan Ekstra Urban (EUC). Dalam Jurnal Purifikasi, Vol. 8, No. 2
- Desember. Departemen Teknik Lingkungan dan Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung, Balai Termodinamika Bahan Bakar dan Propulsi (BTMP)
- Lusiana. 2011. Kerusakan Alam Ancam Budaya Masyarakat. Kompas 16 September 2011
- Prasetyo, Devanta Bayu dan Patriayudha, Fajar. 2012. Pemakaian Gasohol Sebagai Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor. Jurusan

Teknik Kimia Fakultas Teknik: Universitas Diponegoro

LAMPIRAN

Jawa Pos tanggal 20 Agustus 2014 Kolom Pendidikan



Suara Merdeka tanggal 9 Oktober 2014 Kolom Edukasi



C

BIDANG KAJIAN
FISIKA
MATERIAL

KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-GELATIN-ALENDRONATE SEBAGAI INJECTABLE BONE SUBSTITUTE DALAM MENGATASI DEFEK TULANG AKIBAT OSTEOPOROSIS

Alfian Pramudita Putra^{1*}, Agresta Afianti Ifada², Annisa Aulia Rahmah³, Fatkhunisa Rahmawati⁴, Fitriyatul Qulub⁵, Dyah Hikmawati⁶

Program Studi Teknobiomedik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga
Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

*Email : pramuditaaalfian@gmail.com

Abstrak

Data WHO pada tahun 2009 menyebutkan bahwa lebih dari 30% wanita di dunia mempunyai resiko untuk mengalami patah tulang akibat osteoporosis. Proses utama yang terjadi dalam osteoporosis adalah adanya penurunan densitas tulang yang berakibat pada kerapuhan dan patah tulang. Perlu adanya penambahan densitas tulang yang keropos itu dengan cara menambahkan material pengisi tulang atau bone filler. Bone filler yang berbentuk suspensi pada pengaplikasiannya dengan cara disuntikkan untuk mengisi celah-celah akibat osteoporosis yang disebut injectable bone substitute. Adanya tambahan obat alendronate akan lebih meningkatkan fungsi bone filler ini. Alendronate adalah obat dari jenis bisphosphonate yang berfungsi menghambat proses bone remodeling. Pada penelitian ini, akan disintesis komposit berbasis hidroksiapatit (HA) dan gelatin (GEL) dengan perbandingan HA:GEL sebesar 40:60 dan 45:55. Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) 2% w/v dalam aquades pada suhu 90-100°C digunakan sebagai suspending agent. Gelatin 5% w/w dalam aquades bersuhu 40°C, hidroksiapatit dan alendronate diaduk sampai homogen dan kemudian ditambahkan larutan HPMC sampai homogen. Sampel yang sudah disintesis dikarakterisasi dengan uji FTIR, uji sitotoksitas (MTT assay) dan uji viskositas. Hasil Uji FTIR menunjukkan bahwa terbentuk ikatan antara hidroksiapatit dengan gelatin dengan hilangnya bilangan gelombang $1332,72\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus karboksil prolin dari gelatin. Hasil uji MTT assay menunjukkan bahwa suspensi tidak toksik karena nilai persentase viabilitas sel untuk semua sampel lebih dari 50%. Hasil uji viskositas menunjukkan bahwa sampel memiliki viskositas sebesar 69 dPa.s untuk perbandingan HA:GEL=40:60 dan 38,6 dPa.s untuk perbandingan HA:GEL=45:55 yang mendekati standar injectable bone substitute yaitu 40 dPa.s.

Kata Kunci: *Injectable Bone Substitute*, Komposit hidroksiapatit-gelatin, Alendronate, Osteoporosis, Defek Tulang

PENDAHULUAN

Pada tahun 2009 osteoporosis menduduki peringkat kedua di bawah penyakit jantung sebagai masalah kesehatan utama dunia. Menurut data *Internasional Osteoporosis Foundation* (IOF) lebih dari 30% wanita di seluruh dunia mengalami resiko seumur hidup untuk patah tulang akibat osteoporosis, bahkan mendekati 40%, sedangkan pada pria, risikonya berada pada angka 13% (WHO, 2009). Menurut Departemen Kesehatan RI pada tahun 2009, dampak osteoporosis di Indonesia sudah dalam tingkat yang harus diwaspadai, yaitu mencapai 19,7% dari populasi (DEPKES, 2009).

Saat ini sudah banyak dikembangkan berbagai macam cara untuk mengatasi masalah osteoporosis, salah satunya adalah dengan menambah densitas mineral tulang. Cara yang digunakan adalah dengan memberikan mineral tulang pada bagian yang sudah mengalami kerapuhan melalui suntikan suspensi atau koloid mineral atau hormon ke tulang pada bagian yang rapuh.

Hidroksiapatit adalah bagian dari kelompok apatit dari keramik. Hidroksiapatit merupakan komposisi bahan penyusun tulang dimana rumus kimia yang dibentuk hidroksiapatit adalah $(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$ (Ratner, 2004). Material ini bersifat non-toksik, cepat membangun ikatan dengan tulang (bioaktif), memiliki biokompatibilitas dengan jaringan sekitar dan dapat mendorong pertumbuhan tulang baru dalam strukturnya yang berpori (Jarcho, Ogiso, Hench, dan Bajpai dalam Murugan and Ramakrishna, 2004). Secara komersial, produk hidroksiapatit dapat diperoleh dari koral dan tulang hewan (Ratner, 2004). Serbuk HA yang memiliki

stoikiometri yang tepat yaitu rasio molar Ca/P sebanyak 1,67 atau 10/6 dapat menghasilkan sifat mekanis HA yang unggul (Ferraz et al., 2004).

Gelatin adalah protein yang diperoleh dari jaringan kolagen hewan yang terdapat kulit, tulang dan jaringan ikat (Mark dan Stewart dalam Hajrawati, 2006). Gelatin memiliki kemampuan *reversible* dari fase sol ke gel atau sebaliknya, mengembang dalam air, membentuk film, mempengaruhi viskositas suatu bahan dan melindungi sistem koloid (Parker dalam Hajrawati, 2006). Selain itu, penelitian lain juga berhasil mengetahui bahwa adanya gelatin dalam injectable bone substitute mampu mendukung pertumbuhan sel tulang baru dan penempelannya (Perut et al., 2011).

Hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) adalah polimer yang dapat larut dalam air dan banyak digunakan dalam industri makanan sebagai bahan pengental, pembuat gel dan bahan penstabil. Selain itu juga digunakan sebagai pengatur pelepasan obat dalam sistem penghantaran obat (De Moura et al. dan Jyoti et al. dalam Warastuti dan Abbas, 2011). *Alendronate* adalah salah satu obat dari jenis *biphosphonate*. *Biphosphonate* adalah salah satu jenis obat yang digunakan untuk mengatasi tulang yang rapuh, seperti pada kasus osteoporosis, dan mencegah keretakan atau fraktur (Anonim, 2008). *Biphosphonate* merupakan bahan yang mengurangi proses *bone remodelling* melalui modulasi aktivitas *osteoblast* dan *osteoclast* (Giuliani dalam Lui et al., 2013).

Hidroksiapatit banyak dibuat menjadi komposit dengan material lain untuk mengatasi sifat getasnya,

seperti gelatin, alginat atau kitosan. Komposit hidroksiapatit-gelatin cocok digunakan sebagai material pengganti tulang dengan tingkat biokompatibilitas yang tinggi serta tidak toksik setelah diuji secara *in vitro* selama 24 jam dengan komposisi 50% w/w hidroksiapatit (Askarzadeh, 2004). Azami *et al* juga telah melakukan penelitian bahwa komposisi hidroksiapatit-gelatin yang dapat digunakan adalah 40:60. Telah ditunjukkan bahwa komposit hidroksiapatit-gelatin memenuhi hampir semua sifat yang disyaratkan oleh pengganti tulang (*bone substitute*), sesuai hasil uji *in vitro*, *in vivo*, fisis dan kimiawi (Azami, 2012). Penggunaan *alendronate* sebagai obat untuk menambah densitas tulang dan menghambat perombakan tulang telah mengurangi resiko patah tulang pada wanita yang telah menopause dari 20% menjadi 13% (Anonim, 2008). Telah banyak dikembangkan jenis *bone graft* dalam bentuk *injectable bone substitute* berbasis hidroksiapatit dengan menggunakan Hidroksipropilmetil selulosa (HPMC) sebagai *suspending agent* (Weiss et al., 2007; Warastuti dan Abbas., 2011).

Injectable bone substitute adalah bahan pengganti tulang dalam bentuk yang dapat disuntikkan. Peran *injectable bone substitute* bisa juga ditambahkan sebagai penghantar obat untuk membantu proses penyembuhan defek tulang seperti *alendronate*. Adanya penambahan obat tersebut diharapkan tidak hanya menutup defek tulang oleh *injectable bone substitute* tetapi juga lebih cepat sembuh. Sifat *alendronate* yang memiliki afinitas elektron yang tinggi terhadap ion Ca^{2+} menyebabkan mampu berinteraksi dengan kalsium tulang dan menghambat *osteoclast* dalam proses perombakan tulang (Shi *et al.*, 2008).

METODE

ALAT DAN BAHAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain timbangan digital, gelas beaker, pipet, gelas ukur, spuit atau suntikan, pengaduk, *magnetic stirrer*, *Viscotester VT-04F RION CO. LTD*, Tensor™ FT-IR Spectrometer (Perkin Elmer Frontier) dan seperangkat alat uji sitotoksitas (*MTT assay*).

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bubuk hidroksiapatit dari tulang sapi Bank Jaringan RSUD dr. Soetomo, gelatin 150 bloom Rousselot (Guangdong, China) dari kulit sapi, *alendronate* Hetero Labs (India), *Hydroxypropylmethylcellulose* (HPMC) Sigma Aldrich H7509 dan aquades,

Sintesis Komposit Hidroksiapatit-Gelatin-Alendronate
Sampel dibuat dengan melarutkan HPMC 2% (w/v) ke dalam aquadest bersuhu 90-100°C. Gelatin 5% (w/v) dilarutkan dalam aquadest kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 40°C selama 1 jam. Larutan gelatin 5% (w/v) ditambahkan hidroksiapatit sesuai dengan variasi komposisi yang dilakukan yaitu 40:60 dan 45:55 serta diaduk selama 1 jam hingga homogen. Setelah itu ditambahkan *alendronate* dengan takaran 10% massa hidroksiapatit tiap sampel dan diaduk juga hingga homogen. Larutan HPMC 2% (w/v) ditambahkan pada larutan campuran gelatin, hidroksiapatit dan *alendronate* sedikit demi sedikit dan diaduk terus sampai 6 jam. Setelah 6 jam, akan terlihat

komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* dalam bentuk suspensi yang berwarna putih.

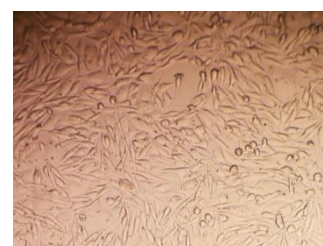
Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan meliputi uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR), uji sitotoksitas (*MTT Assay*) dan uji viskositas.

Untuk melakukan pengujian FT-IR, sampel harus dipreparasi terlebih dahulu. Sampel yang berbentuk cair atau suspensi harus dipadatkan atau dikeringkan terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil FTIR yang baik. Proses pengeringan sampel suspensi dilakukan dengan menggunakan metode *freeze-dried*. Sampel suspensi yang telah jadi diletakkan dalam suatu wadah atau loyang, kemudian dimasukkan ke dalam *freezer* dengan suhu -20°C selama 4 jam. Sampel yang telah membeku dimasukkan ke dalam *lyophilizer* selama 24 jam. Setelah itu, sampel akan menjadi kering dan siap untuk diuji FTIR. Sampel tersebut akan diambil dalam ukuran yang kecil dan ditambahkan bubuk KBr terlebih dahulu dan dikompaksi. Sampel yang telah kompaksi kemudian diletakkan dalam *holder* alat spektrofotometer FTIR dan akan disinari oleh *infrared*. Hasilnya berupa grafik daerah serapan bilangan gelombang terhadap intensitas dari sampel dan siap dianalisis.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *Viscotester VT-04F RION Co. Ltd.*. Suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* langsung dimasukkan gelas *becker* 300 ml dan dilakukan pengukuran dengan menggunakan *rotor* nomor 1. Pengukuran diawali dengan mengaitkan *rotor* pada *viscotester* dan sampel dimasukkan ke dalam gelas *becker* 300 ml hingga batas sampel pada *rotor*. Bagian *needle clamp* yang ada di tepi dipindahkan ke arah sebaliknya dan alat dinyalakan. Ketika *rotor* mulai berputar, jarum indikator viskositas secara perlahan akan bergerak ke arah kanan dan akan stabil pada nilai tertentu. Skala yang digunakan sesuai dengan *rotor* yang digunakan yaitu skala kedua untuk *rotor* nomor 1. Setelah selesai pembacaan hasil viskositas, alat tersebut dimatikan dan *needle clamp* dikembalikan ke arah sebelumnya. Hasil yang ditampilkan berupa angka yang menunjukkan kekentalan sampel suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* dalam satuan dPa.s.

Uji MTT assay adalah uji sitotoksitas yang digunakan untuk melihat apakah material yang dihasilkan bersifat toksik atau tidak yang ditunjukkan dengan nilai *Optical Density* (OD) yang tidak kurang dari 50%, yang artinya sel *fibroblast* yang digunakan tetap hidup lebih dari 50%. Uji sitotoksitas yang dilakukan menggunakan pereaksi 3 - (4, 5-dimetiltiazol-2-yl) - 2, 5-difeniltetrazolium bromida (MTT). Uji sitotoksitas ini dilakukan dengan tiga tahap mulai dari pembiakan atau kultur sel *fibroblast BHK-21*, peletakan sampel dan pembacaan hasil.



Gambar 1. Sel Fibroblast BHK-21

HASIL DAN DISKUSI

HASIL SINTESIS

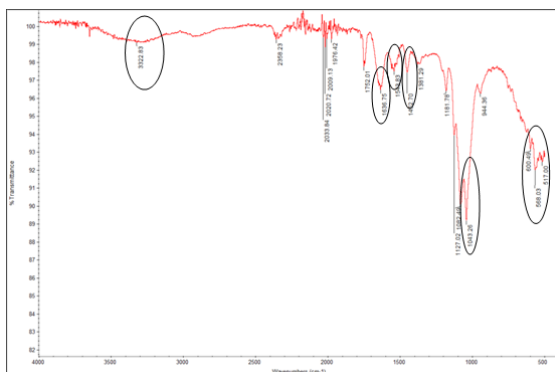
Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* yang diaplikasikan sebagai *injectable bone substitute* dengan perbandingan variasi komposisi hidroksiapatit dan gelatin 40:60 dan 45:55. Jumlah gelatin, *alendronate* dan HPMC yang digunakan sama yaitu 5% w/v gelatin, 2% w/v dan 10% *alendronate* terhadap hidroksiapatit yang dipakai. Perbandingan HPMC dan gelatin yang dipakai adalah 3:1. Hasil sintesis sampel suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel Komposit Hidroksiapatit-Gelatin-Alendronate

HASIL UJI FTIR

Sampel suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* juga dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari bahan-bahan pembentuknya terdapat di dalamnya dan ada tidaknya ikatan baru yang terbentuk. Spektrum FTIR sampel suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate* dapat dilihat pada gambar 3.



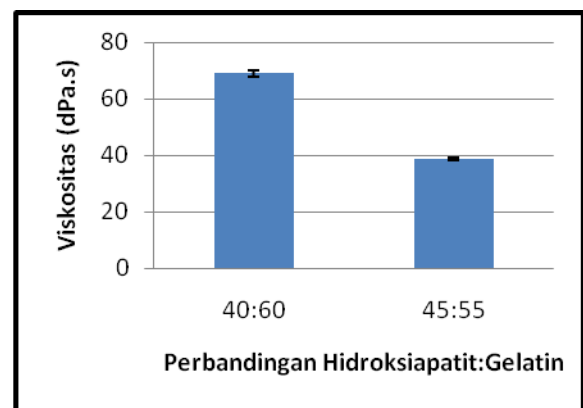
Gambar 3. Spektrum FTIR Sampel Komposit Hidroksiapatit-Gelatin-Alendronate

Pada spektrum FTIR gelatin, bilangan gelombang 1332,72 cm⁻¹ merupakan daerah serapan dari gugus fungsi karboksil yang berasal dari prolin gelatin yang merupakan ciri khas dari kolagen tipe 1 (Narbat et al., 2006). Penelitian yang dilakukan oleh Narbat (2006) dengan menggunakan hidroksiapatit dan gelatin sebagai *scaffold*, menunjukkan bahwa hidroksiapatit dan gelatin membentuk ikatan antara ion Ca²⁺ dengan gugus karboksil (COO⁻) dari gelatin sehingga gugus fungsi dari COO⁻ tidak akan muncul pada sampel *scaffold* tersebut.

Pergeseran yang terjadi terlihat pada bilangan gelombang dari gelatin yang sebelumnya juga telah diteliti oleh Wang et al. (2010) dan juga menunjukkan pergeseran bilangan gelombang yang menunjukkan adanya ikatan antara karboksil (COO⁻) dari gelatin dengan Ca²⁺ dari hidroksiapatit pada daerah serapan 1543,83cm⁻¹. Pergeseran ini juga terlihat pada hasil spektrum FTIR pada variasi perbandingan hidroksiapatit dan gelatin yang lain. *Alendronate* juga masih terlihat pada daerah serapan 1636,75 cm⁻¹ yang merupakan gugus amina (NH₂).

Hasil Uji Viskositas

Uji viskositas dilakukan untuk mengetahui kekentalan sampel suspensi yang telah disintesis. Alat yang digunakan untuk uji viskositas adalah *Viscotester VT-04F Rion Co. Ltd* dengan menggunakan *rotor* nomor 1 dengan tempat sampel gelas *becker* 300 ml. Gambar 5 menunjukkan hasil viskositas dari 2 sampel suspensi komposit hidroksiapatit-gelatin-*alendronate*.



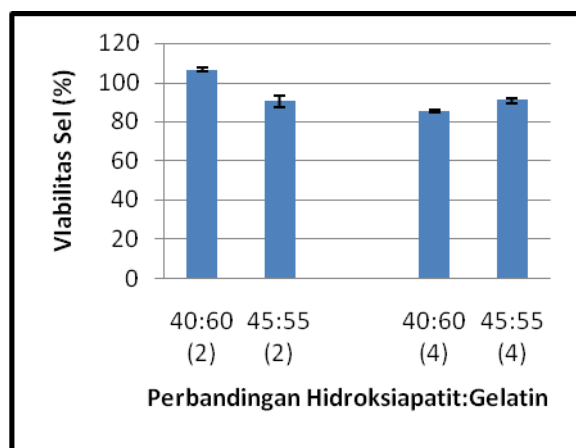
Gambar 5. Grafik Viskositas Suspensi Komposit Hidroksiapatit-Gelatin-Alendronate

Gambar 5 menunjukkan bahwa viskositas yang dimiliki oleh kedua sampel menunjukkan hasil yang berada di sekitar nilai standar viskositas untuk sample *injectable bone substitute*, yaitu 40 dPa.s. Pada perbandingan hidroksiapatit dan gelatin 40:60 menunjukkan hasil sebesar (69±1) dPa.s. Pada perbandingan 45:55 hasilnya (38,7±0,54) dPa.s. Hasil uji viskositas yang telah dilakukan memiliki hasil yang mendekati nilai standar viskositas adalah sampel dengan perbandingan HA:Gelatin sebesar 45:55, yaitu (38,7±0,54) dPa.s (Bourges et al., 2001). Selain itu, kedua sampel ini mampu disuntikkan dari spuit atau jarum suntik 10 ml dengan diameter ujung dalam 2 mm dengan mudah. Hal ini menunjukkan bahwa secara kualitatif, semua suspensi mampu diaplikasikan sebagai *injectable bone substitute*. Untuk itu, perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut untuk mengetahui sifat injektabilitas suspensi tersebut dengan uji injektabilitas agar terukur secara kuantitatif.

HASIL UJI SITOTOKSISITAS (MTT ASSAY)

Uji sitotoksitas digunakan untuk mengetahui sifat toksisitas suatu bahan yang salah satunya menggunakan pereaksi MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2-yl)-2,5-difeniltetrazolium bromide). Sel yang digunakan adalah sel *fibroblast BHK-21* (Baby Hamster Kidney-21) yang memiliki kecepatan pertumbuhan yang tinggi, integritas sel yang tetap terjaga dan mampu bermultiplikasi atau memperbanyak diri (Meizarini,

2004). Hasil uji sitotoksitas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan antara Perbandingan HA:Gelatin pada Komposit Hidroksiapatit-Gelatin-Alendronate dengan Persentase Viabilitas Sel

Gambar 6 menunjukkan persentase sel hidup dari masing-masing sampel dengan dua macam pengenceran, yaitu dua dan empat kali pengenceran. Hasil terbaik ditunjukkan oleh sampel HA:Gelatin=40:60 dengan pengenceran dua kali yaitu 106,38% dan viabilitas sel terendah terjadi pada sampel HA:Gelatin=40:60 dengan pengenceran empat kali yaitu 85,13%. Semua variasi komposisi dan pengenceran masih masuk dalam wilayah tidak toksik karena viabilitas selnya lebih dari 50% (Spielmann et al., 2007).

KESIMPULAN

Komposit hidroksiapatit-gelatin-alendronate mampu dibuat menjadi *injectable bone substitute* untuk aplikasi pada defek tulang akibat osteoporosis. Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa hidroksiapatit berikatan dengan gelatin dari gugus Ca^{2+} dan COO^- . Hasil Uji viskositas menunjukkan bahwa nilai viskositas sampel telah berada di sekitar nilai standar viskositas *injectable bone substitute*, yaitu 40 dPa.s. Hasil uji sitotoksitas (MTT assay) menunjukkan bahwa semua sampel tidak toksik dengan nilai viabilitas sel lebih dari 50%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Aniek Setiya Budiati, Dra., Apt., M.Si yang telah memberikan saran dan masukan dalam penelitian ini. Terima kasih juga peneliti sampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah memdanai penelitian ini dalam rangka Program Kreativitas Mahasiswa-Penelitian (PKMP) Tahun 2014 serta semua pihak yang turut membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim (2008), *Alendronate for Osteoporosis-Preventing Fracture in People with Very Fragile Bone (Low Bone Mineral Density)*, National Prescribing Service Limited (NPS), Australia, Diakses pada tanggal 1 Oktober 2013.

- Askarzadeh, K., Orang, F., and Moztaezadeh, F. (2004), *Fabrication and Characterization of a Porous Composite Scaffold Based on Gelatin and Hydroxyapatite for Bone Tissue Engineering*, Iranian Polymer Journal 14 (6): 511-520.
- Azami, M., Tavakol, S., Samadikuchaksaraei, A., Hashjin, M. S., Baheiraei, N., Kamali, M., dan Nourani, M. R. (2012), *A Porous Hydroxyapatite/Gelatin Nanocomposite Scaffold for Bone Tissue Repair: In Vitro and In Vivo Evaluation*, Journal of Biomaterials Science.
- Bourges, X., Weiss, P., Daculsi, G., and Legeay, G. (2001), *Synthesis and General Properties of Silylated Hydroxypropylmethylcellulose in Prospect Biomedical Use*, Advance in Colloidal and Interface Science 99 (3).
- DEPKES (2009), Waspada osteoporosis di Indonesia. <http://www.depkes.co.id/index.php.html>. diperoleh tanggal 10 Oktober 2013.
- Hajrawati (2006), Sifat Fisik dan Kimia Gelatin Tulang Sapi dengan Perendaman Asam Klorida pada Konsentrasi dan Lama Perendaman yang Berbeda, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
- Lui, P.P.Y., Lee, Y. W., Mok, T. Y., Cheuk, Y. C., and Chan, K. M. (2013), *Alendronate Reduce Peri-Tunnel Bone Loss and Enhanced Tendon Graft to Bone Tunnel Healing in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction*, European Cells and Materials Vol.25 (2013) 78-96, Hongkong.
- Meizarini, A. (2004), Sitotoksitas Bahan Restorasi Cyanoacrylate pada Variasi Perbandingan Powder dan Liquid Menggunakan MTT Assay, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Murugan, R. and Ramakrishna, S. (2004), *Bioresorbable Composite Bone Paste Using Polysaccharide Based Nano Hydroxyapatite*. Elsevier Ltd. Biomaterials 25 (2004), Singapore: 3829-3835.
- Narbat, K. M., Orang F., Hashtjin, M. S., and Goudarzi, A. (2006), *Fabrication of Porous Hydroxyapatite-Gelatin Composite Scaffold for Bone Tissue Engineering*, Iranian Biomedical Journal 10 (4): 215-223.
- Perut, F., Montufar, E. B., Ciapetti, G., Santin, M., Salvage, J., Traykova, T., Planell, J. A. and Ginebra, M. P. (2011), *Novel Soybean/Gelatin-Based Bioactive and Injectable Hydroxyapatite Foam: Material Properties and Cell Response*, Acta Biomaterialia 7 Inc Elsevier Ltd, Italia: 1780-1787.
- Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J. and Lemons, J. E. (2004), *Biomaterial Science: An Introduction to Materials in Medicine*, Second Edition, Elsevier Academic Press, San Diego, USA.
- Shi, X., Wang, Y., Ren, L., Gong, Y., and Wang, D. A. (2008), *Enhancing Alendronate Release from a Novel PLGA/Hydroxyapatite Microspheric System for Bone Repairing Applications*,

- Pharmaceutical Research, Vol. 26, No. 2, China: 422-430.
- Spielmann, H., Hoffmann, S., Liebsch, M., Botham, P., Fentem, J. H., Eskes, C., Roguet R., Cotovio, J., Cole, T., Worth, A., Heylings, J., Jones, P., Robles, C., Kandarova, H., Gamer, A., Remmele, M., Curren, R., Raabe, H., Cockshott, A., Gerner, I., Zuang, V. (2007), *The ECVAM International Validation Study on In Vitro Tests for Acute Skin Irritation: Report on The Validity of The EPISKIN and EpiDerm Assays and on The Skin Integrity Function Test*, ATLA 35, 559-601.
- Wang, F., Guo, E., Song, E., Zhao, P. and Liu, J., 2010, *Structure and Properties of Bone-like Nanohydroxyapatite/Gelatin/Polyvinyl Alcohol Composites*, Advances in Bioscience and Biotechnology (1), China: 185-189.
- Warastuti, Y. dan Abbas, B. (2011), Sintesis dan Karakterisasi Pasta *Injectable Bone Substitute* Iradiasi Berbasis Hidroksiapatit, Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, Jakarta.
- Weiss, P., Gauthier, O., Bouler, J. M., Grimandi, G. and Daculsi, G. (2007), *Injectable Bone Substitute Using a Hydrophilic Polymer*, Equipe INSERM Materiaux V. 1., France: 1-8.
- WHO (2009). Osteoporosis ancaman kesehatan penduduk dunia. <http://www.who.org/program/osteoporosis/index.html>, Diakses pada tanggal 6 Oktober 2013.

POTENSI EKSTRAK DAUN TEH (*CAMMELLIA SINENSIS* L. KUNTZE) UNTUK INHIBITOR LAJU KOROSI PADA PIPA BAJA KARBON SEBAGAI PENYALUR GAS DALAM MEDIA KOROSIF TANAH

*Anindia¹, R Puri^{1,2}, Djan Adi³, Siswanto⁴

¹ Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

*Email : anindiapuri@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi suhu terhadap potensi ekstrak daun teh (*Cammelia Sinensis*) untuk inhibitor laju korosi pada 6 pipa baja karbon tipe A-106. Metode yang digunakan adalah metalurgi serbuk, kompaksi, dan sintering dengan variasi suhu yakni 900°C, 1000°C, dan 1100°C. Metode yang digunakan adalah pengurangan massa. Media korosif yang digunakan adalah tanah. Lama pemendaman tanpa variasi yakni selama 10 hari. Analisis komposisi bahan menggunakan XRF dan analisis permukaan sampel menggunakan SEM. Terdapat klasifikasi sampel yakni 3 dengan inhibitor dan 3 tanpa inhibitor. Pertama-tama baja digerus hingga menjadi serbuk kemudian dikompaksi dan disintering. Setelah sintering, baja karbon diamplas hingga mengkilap, kemudian dicelupkan pada inhibitor ekstrak daun teh selama 24 jam hingga kemudian di uji XRF. Hasil penelitian menunjukkan sampel dengan suhu 1100°C memiliki unsur Chrom (Cr) yang lebih banyak dibandingkan sampel suhu 900°C dan 1000°C. Serta didapatkan nilai laju korosi untuk sampel 900°C dengan inhibitor sebesar 2.325 mpy, 900°C tanpa inhibitor 2.410 mpy dengan efisiensi inhibisi 3.527%, sampel 1000°C dengan inhibitor 1.613 mpy, 1000°C tanpa inhibitor 1.761 mpy dengan efisiensi inhibisi 8.404%, dan sampel 1100°C dengan inhibitor 0.804 mpy, 1100°C tanpa inhibitor 0.910 mpy dengan efisiensi inhibisi 11.648%.

Kata Kunci : Baja karbon tipe A 106, Inhibitor, Laju Korosi, Ekstrak Daun Teh.

PENDAHULUAN

Dewasa ini baja atau logam dikenal sebagai salah satu bahan utama yang digunakan dalam industri-industri yang ada di Indonesia. Umumnya logam mudah mengalami oksidasi atau korosi. di Indonesia permasalahan korosi perlu mendapatkan perhatian serius, mengingat dua per tiga wilayah Indonesia terdiri dari lautan dan terletak pada iklim tropis dengan curah hujan tinggi.

Tanah merupakan medium yang korosif karena di dalamnya terdapat beberapa unsur seperti air (H₂O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Magnesium (Mg), Belerang (S), Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Borium (B), Molibdenum (Mo), Chlor (Cl), dan pada pH yang asam yakni 4,0 (Lephass UNHAS, 1985). Hal ini dapat mempercepat terjadinya proses korosi pada material jenis logam dan turunannya, contoh baja karbon (*carbon steel*) tipe A 106. Terjadinya reaksi oksidasi-reduksi (redoks) secara kimiawi dan perubahan pH di dalam tanah berdampak pada proses fisis terjadinya pengurangan jumlah massa tiap satuan waktu.

Baja karbon (*carbon steel*) tipe A 106 mengandung unsur karbon (C) sebesar 0,81% dan memiliki *melting point* 948°C. Sesuai dengan diagram fasa, baja karbon tipe A 106 ini termasuk dalam fase *austenite*. Fasa *austenite* adalah fasa di mana titik didih terletak pada kisaran suhu yakni sekitar 720°C-1200°C (ASTM, 2004).

Pada penelitian ini akan dilakukan studi tentang pengaruh variasi suhu sintering pada replikasi baja karbon (*carbon steel*) tipe A 106 terhadap laju korosi dan potensi ekstrak daun teh (*Cammelia Sinensis*) sebagai inhibitor dalam pengurangan laju korosi.

Korosi atau penurunan mutu suatu material yang terjadi pada jenis logam, memberikan dampak merugikan secara ekonomi pada industri khususnya industri logam dan aplikasinya. Replikasi material dengan teknik metalurgi seperti penggerusan, sintering dan kompaksi merupakan upaya untuk meningkatkan daya tahan (resistensi) suatu material logam terhadap korosi. Metode pelapisan pada material logam dengan menggunakan inhibitor sebagai katalisator dapat juga digunakan untuk memperlambat laju korosi. Inhibitor atau katalisator terdiri dari dua jenis bahan, yaitu inhibitor anorganik yang disintesis dengan cara kimiawi seperti cat (*paint*) dan inhibitor organik yang berbahan dasar material alam seperti ekstrak daun teh (*Cammelia Sinensis*) (Derry, 2010).

Daun teh (*Cammelia Sinensis*) mengandung kafein (2-3%), tannin yang lebih besar dari kopi yaitu sekitar 7% - 15%, theobromin, theofilin, xanthine, adenine minyak atsiri, kuersetin, naringenin, dan natural fluoride. Daun teh dapat dijadikan sebagai inhibitor karena terdapat senyawa kafein dalam kandungan kimia daun tersebut (Derry, 2010). Senyawa kafein adalah unsur Nitrogen yang nantinya menjadi pendonor elektron logam untuk membentuk senyawa kompleks pada proses pemasaman dalam tanah. Unsur Nitrogen inilah yang nantinya bereaksi dengan unsur-unsur dalam tanah dan berperan penting dalam proteksinya terhadap logam.

METODE PENELITIAN

1. Pembuatan larutan inhibitor ekstrak daun teh dilakukan dengan cara mengeringkan daun teh kemudian dipotong-potong dan dihaluskan. Kemudian

2. daun teh yang sudah kering dimaserasi dengan air dan dilakukan pengadukan secara berkala. Kemudian larutan disaring dengan menggunakan kertas saring agar terpisah dari endapannya. Larutan ini dibuat dengan metode pengenceran, yang mana setiap 4 gram ekstrak daun teh dilarutkan dengan 96 ml aquabides. Dan konsentrasi yang dibuat sebesar 4%.
3. Ke enam baja karbon sebagai spesimen uji dihaluskan permukaannya menggunakan amplas dengan tujuan menjadikan permukaan baja karbon menjadi homogen. Kemudian permukaan baja karbon diberi aseton untuk menghilangkan lemak yang menempel pada baja. Selanjutnya baja dikeringkan menggunakan furnace dengan suhu 40° C selama 15 menit. Pada metode ini spesimen digerus sedemikian hingga menjadi bubuk atau serbuk. Alat yang digunakan untuk menggerus spesimen adalah mesin bubuk.
4. Dalam tahap ini spesimen dibentuk sedemikian hingga dengan spesifikasi diameter 2 cm. Metode kompaksi yang digunakan adalah *Hot Compressing*, yaitu penekanan dengan temperatur di atas temperatur kamar.
5. Hasil kompaksi tersebut disintering dengan menggunakan *furnace* yang mana pada perlakuan ini dilakukan dengan variasi suhu yakni 900°C, 1000°C, dan 1100°C selama 6 jam dengan tujuan mendapatkan hasil butir yang berbeda pada struktur tiap spesimen.
6. Permukaan spesimen diamplas hingga bersih. Kemudian permukaannya ditembak dengan XRF yang nantinya keluaran dari kandungan unsur akan muncul dan dapat mulai diamati perbedaan hasil dari Baja Karbon Tipe A 106 dan replikanya.
7. Ke 3 spesimen hasil kompaksi yang telah di uji XRF dicelupkan ke dalam ekstrak daun teh dengan konsentrasi 4% selama 24 jam.
8. Sebelum spesimen dipendam dalam tanah, massa awal spesimen dihitung dengan menggunakan timbangan digital. Ini perlu dilakukan dikarenakan perhitungan laju korosi mencakup massa awal dan massa akhir spesimen.
9. Kemudian di Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan dihitung laju korosinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji komposisi sampel untuk replikasi baja karbon tipe A 106 kategori A1, A2, B1, B2, C1, dan C2

dengan XRF X-MET 5100 di PT PETROKIMIA GRESIK diperlihatkan pada tabel 1 berikut ini

Unsur	A-106	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Si	0.39	0.00	0.10	0.52	0.30	0.21	0.24
S	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.07	0.00
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Cr	0.07	0.04	0.03	0.05	0.05	0.07	0.07
Mn	0.46	0.41	0.38	0.42	0.39	0.33	0.44
Fe	98.23	98.36	98.33	98.37	98.21	98.33	98.23
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Cu	0.01	0.00	0.02	0.02	0.08	0.04	0.03
Mo	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
W	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
C	0.81	1.16	1.13	0.61	0.96	0.92	0.98

Tabel 1. Klasifikasi Unsur Dalam Spesimen Uji Replikasi Baja Karbon Tipe A 106

Unsur komposisi bahan berkaitan erat dengan sifat mekanik dan kimiawi suatu logam. Begitu halnya dengan penelitian ini, komposisi bahan pada spesimen uji dapat diklasifikasikan sesuai dengan unsur-unsur yang dikandungnya. Komposisi penyusun bahan yang dominan adalah besi (Fe). Ini menandakan bahwa unsur Fe adalah matriks dan unsur-unsur sisanya seperti Silika (Si), Fosfor (P), Belerang (S), Vanadium (V), Krom (Cr), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Tembaga (Cu), Molibdenum (Mo), dan Karbon (C) adalah sebagai *filler* (unsur pendukung).

Kelarutan maksimum dari karbon (C) pada *austenite* adalah 1,7 % pada 1140°C (Febrianto, 2010). Hasil ini sesuai dengan yang didapatkan pada replikasi

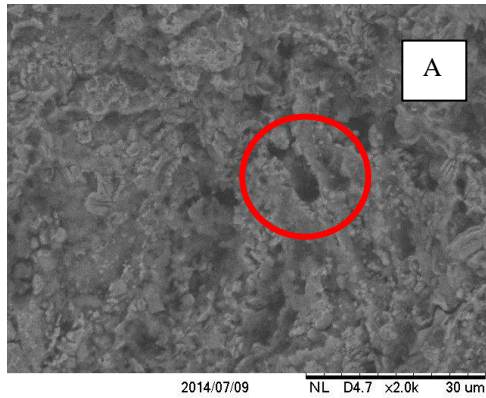
sampel kategori C2 dengan suhu sintering 1100°C yakni prosentasi karbon (C) yang didapat adalah 1,05 %. Untuk perlakuan pada suhu dibawah 1100°C hasil perolehan Karbon (C) yang didapat yakni kurang dari 1,00 %. Terdapat perbedaan hasil komposisi yang didapat, hal dikarenakan proses dari pengerusan yang tidak vakum atau tidak steril dan lagi proses metalurgi serbuk dapat merubah karakteristik logam (Djaprie, 1991)

Kekurangan unsur Cr (Chrom) akan menyebabkan korosi antar butir yang dipengaruhi akibat perlakuan panas atau pengelasan. Korosi antar butir disebabkan karena presipitasi karbida Cr pada batas butir. Namun masalah ini dapat diatasi dengan penambahan unsur Ti atau Nb yang merupakan unsur pembentuk

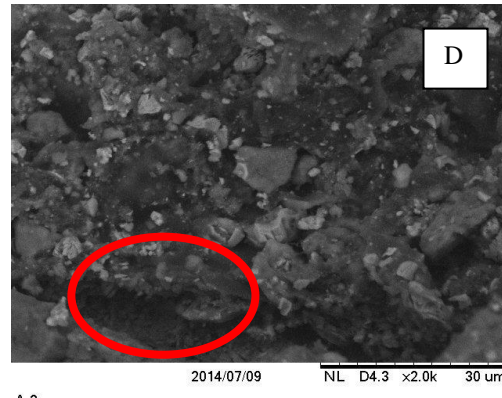
karbida yang kuat untuk menghindari terjadinya karbida

Cr (Karuniawan, 2007).

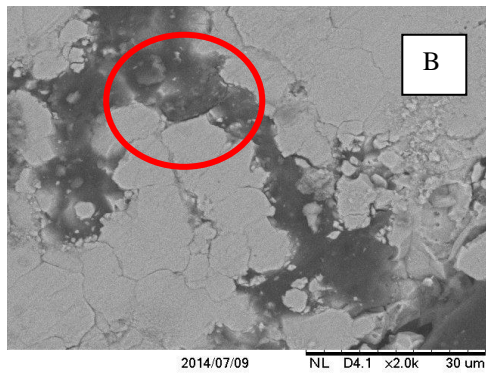
Hasil uji sem selama penelitian ditunjukkan pada gambar berikut :



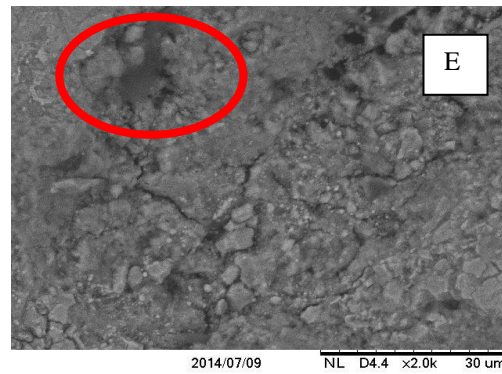
A-1



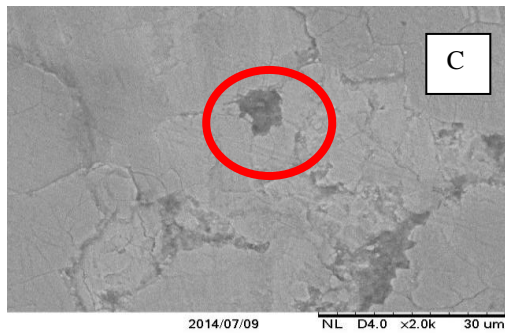
A-2



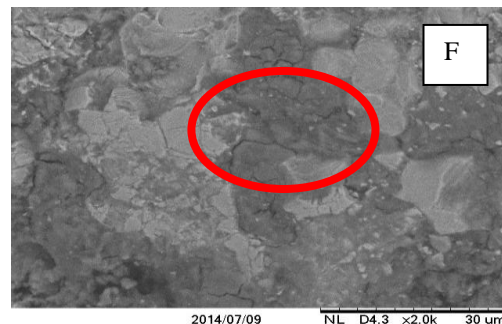
B-1



B-2



C-1



C-2

Gambar 1. (a) Gambar A1 (suhu 900°C dengan inhibitor) ; (b) Gambar A2 (suhu 900°C tanpa inhibitor) ; (c) Gambar kategori B1 (suhu 1000°C dengan inhibitor) (d) Gambar kategori B2 (suhu 1000°C tanpa inhibitor) ; (e) Gambar kategori C1 (suhu 1100°C dengan inhibitor) ; (f) Gambar kategori C2 (suhu 1100°C tanpa inhibitor).

Gambar A1 (suhu 900°C dengan inhibitor) dengan perbesaran 2000X terlihat bahwa banyak bagian berwarna hitam. Bagian ini adalah bagian yang terkorosi. Menurut ciri-ciri yang ada pada spesimen uji, yakni terdapat titik-titik kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan logam, maka spesimen kategori A1 (suhu 900°C dengan inhibitor) ini mengalami korosi jenis korosi sumuran (*Pitting Corrosion*).

Dan pada sampel A1 (suhu 900°C dengan inhibitor) ini terlihat banyak *cracking* atau retakan pada permukaan spesimen uji. Besaran *cracking* atau retakan ini nampak dengan menggunakan perbesaran 5000X dalam skala mikro yakni bernilai 1.93 μm , 2.43 μm , 2.03 μm , 2.08 μm , 1.87 μm , dan 2.03 μm sehingga didapatkan rata-rata retakan permukaan spesimen uji sebesar 2.06 μm .

Gambar A2 (suhu 900°C tanpa inhibitor) terlihat lebih banyak bagian berwarna hitam. Bagian hitam yang terkorosi terlihat lebih dominan pada sampel ini.. Menurut ciri-ciri yang ada pada spesimen uji, yakni terdapat titik-titik kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan logam, maka spesimen kategori A2 ini mengalami korosi jenis korosi sumuran (*Pitting Corrosion*).

Pada kategori A2 (suhu 900°C tanpa inhibitor) terdapat pula *cracking* atau patahan, hasil yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan sampel A1 (suhu 900°C dengan inhibitor). Besaran *cracking* atau patahan ini nampak dengan menggunakan perbesaran 1000X dalam skala mikro yakni bernilai 18.9 μm , 12.5 μm , 16.5 μm , 18.2 μm , 24.3 μm , dan 8.61 μm sehingga didapatkan rata-rata patahan permukaan spesimen uji sebesar 16.50 μm .

Hasil yang didapatkan untuk sampel kategori A (suhu 900°C) adalah dikarenakan suhu pemanasan yang sangat kurang tinggi. Hal ini mengakibatkan ikatan-ikatan antar butir pada spesimen belum begitu rapat sehingga kinerja dari inhibitor pun belum maksimal untuk menahan serangan-serangan dari lingkungan korosif. Sedangkan untuk sampel A2 (suhu 900°C tanpa inhibitor) yang mengakibatkan terjadinya korosi yang cukup merata adalah karena perlakuan tanpa adanya perendaman larutan inhibitor oleh karena itu *cracking* atau patahan dapat terlihat dengan perbesaran 1000X saja.

Gambar kategori B1 (suhu 1000°C dengan inhibitor) bagian hitam adalah bagian yang terkorosi terlihat tidak begitu merata namun hanya bagian-bagian tertentu. Menurut ciri-ciri yang ada pada spesimen uji, yakni terdapat titik-titik kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan logam, maka spesimen kategori B1 (suhu 1000°C dengan inhibitor) ini mengalami korosi jenis korosi sumuran (*Pitting Corrosion*).

Pada sampel ini juga terdapat *cracking* atau patahan yang nampak lebih baik dari sampel-sampel sebelumnya yakni sampel A1 (suhu 900°C dengan

inhibitor) dan sampel A2 (suhu 900°C tanpa inhibitor). Besaran *cracking* atau patahan ini nampak dengan menggunakan perbesaran 8000X dalam skala nano yakni bernilai 381 nm, 443 nm, 247 nm, 326 nm, 313 nm, dan 385 nm sehingga didapatkan rata-rata patahan permukaan spesimen uji sebesar 349.16 nm.

Gambar B2 (suhu 1000°C tanpa inhibitor) terdapat bagian yang berwarna hitam. Bagian hitam yang terkorosi terlihat tidak begitu merata namun hanya bagian-bagian tertentu. Menurut ciri-ciri yang ada pada spesimen uji, yakni terdapat titik-titik kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan logam, maka spesimen kategori B2 (suhu 1000°C tanpa inhibitor) ini mengalami korosi jenis korosi sumuran (*Pitting Corrosion*).

Hasil uji SEM untuk B2 (suhu 1000°C tanpa inhibitor) *cracking* atau patahan yang nampak lebih baik dari sampel-sampel sebelumnya yakni sampel A1 dan sampel A2 namun tidak lebih baik dari B1. Besaran *cracking* atau patahan ini nampak dengan menggunakan perbesaran 5000X dalam skala mikro yakni bernilai 4.96 μm , 2.48 μm , 1.62 μm , 1.87 μm , 1.47 μm , dan 1.42 μm sehingga didapatkan rata-rata patahan permukaan spesimen uji sebesar 2.30 μm .

Hasil untuk kategori B (suhu 1000°C) adalah dikarenakan suhu pemanasan yang cukup tinggi. Hal ini mengakibatkan ikatan-ikatan antar butir pada spesimen belum begitu rapat sehingga kinerja dari inhibitor pun belum maksimal untuk menahan serangan-serangan dari lingkungan korosif oleh karena itu gambar *cracking* atau patahan kategori B2 (suhu 1000°C tanpa inhibitor) dapat terlihat dengan perbesaran yang lebih kecil dari perbesaran B1 (suhu 1000°C dengan inhibitor) namun tidak lebih besar dari perbesaran pada sampel A1 dan A2 yakni menggunakan perbesaran 5000X saja.

Pada kategori C1 (suhu 1100°C dengan inhibitor) terdapat sangat sedikit bagian yang berwarna hitam. Bagian hitam yang terkorosi terlihat tidak begitu merata namun hanya bagian-bagian tertentu. Menurut ciri-ciri yang ada pada spesimen uji, yakni terdapat titik-titik kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan logam, maka spesimen kategori C1 (suhu 1100°C dengan inhibitor) ini mengalami korosi jenis korosi sumuran (*Pitting Corrosion*).

Besaran *cracking* atau patahan yang didapat nampak halus yang menandakan sampel ini lebih baik dari sampel-sampel sebelumnya yakni sampel A1, A2, B1, dan B2. Besaran *cracking* atau patahan ini nampak dengan menggunakan perbesaran 7000X dalam skala nano yakni bernilai 220 nm, 153 nm, 184 nm, 162 nm, 149 nm, dan 217 nm sehingga didapatkan rata-rata patahan permukaan spesimen uji sebesar 180.83 nm.

Pada kategori C2 (suhu 1100°C tanpa inhibitor) terdapat sedikit bagian yang berwarna hitam. Bagian hitam yang terkorosi tidak lebih baik dari C1 (suhu 1100°C dengan inhibitor). Menurut ciri-ciri yang ada pada spesimen uji, yakni terdapat titik-titik kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan logam,

maka spesimen kategori C2 (suhu 1100°C tanpa inhibitor) ini mengalami korosi jenis korosi sumuran (*Pitting Corrosion*).

Hasil uji SEM sampel C2 (suhu 1100°C tanpa inhibitor) adalah menghasilkan *cracking* atau patahan yang nampak sedikit halus yang berarti lebih baik dari sampel-sampel sebelumnya yakni sampel A1, A2, B1, dan B2 namun tidak lebih baik dari sampel C1. Besaran *cracking* atau patahan ini nampak dengan menggunakan perbesaran 6000X dalam skala nano yakni bernilai 510 nm, 604 nm, 464 nm, 513 nm, 506 nm, dan 634 nm sehingga didapatkan rata-rata patahan permukaan spesimen uji sebesar 538.5 nm.

Sesuai dengan gambar untuk kategori C (suhu 1100°C) adalah dikarenakan suhu pemanasan yang tinggi. Sehingga pada proses ini didapatkan hasil terbaik dalam mengetahui kinerja inhibitor dalam melindungi baja pada medium korosif. Sehingga pada proses ini didapatkan hasil terbaik dalam mengetahui kinerja inhibitor dalam melindungi baja pada medium korosif jika dibandingkan dengan sampel A1, A2, B1, dan B2 yang suhu sinternya rendah namun tidak lebih baik dari C1 walaupun suhu sinternya sama dikarenakan sampel C2 ini tanpa menggunakan inhibitor.

Nilai *cracking* atau patahan pada tiap-tiap sampel sesuai dengan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai *Cracking* Atau Patahan Pada Sampel

Sampel	Nilai <i>Cracking</i> Atau Patahan
A1	2.06 μm
A2	16.50 μm
B1	349.19 nm
B2	2.30 μm
C1	180.83 nm
C2	538.5 nm

Lama waktu penahanan suhu yang dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari sampel adalah dengan menahan pada temperatur pengerasan pada waktu tertentu untuk memperoleh pemanasan yang homogen sehingga unsur austenitnya homogen atau terjadi kelarutan karbida kedalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Pada baja karbon tipe A 106 yang termasuk baja karbon rendah maka waktu penahanan yang digunakan adalah selama 5 menit.

Hasil perhitungan laju korosi sampel

Tabel 3. Laju Korosi Replikasi Baja Karbon dan Efisiensi Inhibisi Ekstrak Daun Teh (*Cammellia Sinensis*) Dengan Inhibitor

Sampel	Laju Korosi	Efisiensi Inhibisi
A1	2.325 mpy	3.527 %
A2	2.41 mpy	
B1	1.613 mpy	

B2	1.761 mpy	8.404 %
C1	0.804 mpy	11.648 %
C2	0.910 mpy	

Sampel A adalah sampel yang mendapatkan hasil terburuk dari serangkaian penelitian. Hasil yang diperoleh sampel A1 untuk laju korosi sebesar 2.235 mpy dan sampel A2 sebesar 2.41 mpy. Nilai di atas membuktikan bahwa sampel A1 lebih baik dari sampel A2. Ini dikarenakan sampel A1 telah mengalami proses *coating* dengan larutan inhibitor yakni ekstrak daun teh (*Cammellia Sinensis*) sedangkan sampel A2 tidak. Efisiensi inhibisi pada kategori ini masih cukup rendah yakni sebesar 3.527%. Perhitungan yang dilampirkan pada lampiran menjelaskan bahwa massa yang hilang ditunjukkan paling besar pada sampel A2.

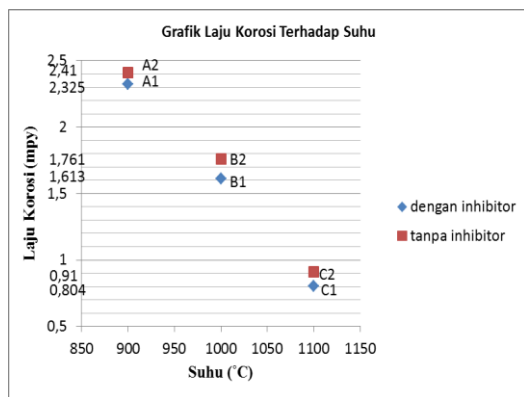
Hal ini berkaitan pula dengan suhu sintering dan perbesaran yang dilakukan pada uji SEM. Pada kategori A, perbesaran yang dilakukan untuk mengamati permukaan sampel tidaklah besar, karena dengan skala kecil saja permukaan yang terkorosi sudah terlihat.

Sampel B adalah sampel yang mendapatkan hasil cukup baik dari serangkaian penelitian. Hasil yang diperoleh B1 tentu saja lebih baik dari B2, A1, dan A2. Selain sampel B1 telah mengalami proses *coating* dengan larutan inhibitor yakni ekstrak daun teh (*Cammellia Sinensis*) terlebih dahulu, terdapat pula peningkatan suhu pada kategori ini. Sampel B1 nilai laju korosinya sebesar 1.613 mpy dan sampel B2 1.761 mpy. Sedangkan Efisiensi inhibisinya sebesar 8.404 %.

Hal ini berkaitan pula dengan perbesaran yang dilakukan pada uji SEM. Pada kategori B, perbesaran yang dilakukan untuk mengamati permukaan sampel agak lebih besar, karena permukaan sampel yang sudah agak halus. Fenomena ini berkaitan dengan semakin tinggi suhu maka kemungkinan kerapatan bahan yang terjadi semakin besar.

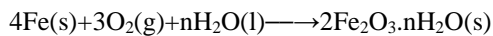
Sampel C adalah sampel yang mendapatkan hasil sangat baik dari serangkaian penelitian. Hasil laju korosi C1 sangat rendah dibandingkan dengan sampel-sampel lainnya. Walaupun begitu, sampel C2 yang tanpa inhibitor juga mendapatkan hasil terbaik dibandingkan dengan sampel tanpa inhibitor lainnya. Nilai laju korosi yang didapat C1 sebesar 0.804 mpy dan C2 sebesar 0.910 mpy dengan efisiensi inhibisi sebesar 11.648 %.

Nilai yang didapat untuk kategori ini sangat jauh lebih baik dibandingkan sampel kategori A dan kategori B. Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan suhu diatas *melting point* dari baja karbon itu sendiri. Dewasa ini, semakin tinggi suhu semakin tinggi pula tingkat oksidasinya. Namun pada penelitian ini, digunakan aliran gas Argon yang bertujuan untuk mengurangi terjadinya oksidasi. Adapun grafik hubungan laju korosi terhadap suhu dijelaskan pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Grafik Hubungan Laju Korosi Terhadap Suhu

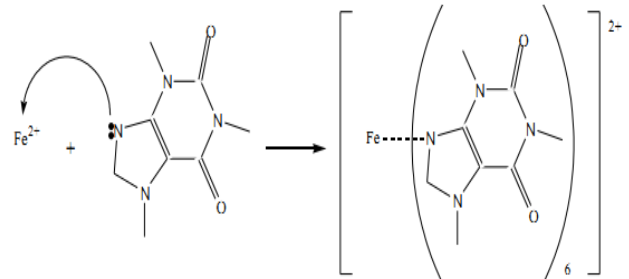
Mengacu pada definisi korosi, yakni kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki, memungkinkan korosi pada besi menjadi besi oksida atau besi karbonat. Reaksi keseluruhan pada korosi besi adalah sebagai berikut :



Akibat adanya migrasi ion dan elektron, karat sering terbentuk pada daerah yang agak jauh dari permukaan besi yang terkorosi (lubang). Warna pada karat beragam mulai dari warna kuning hingga cokelat merah bahkan sampai berwarna hitam. Warna ini bergantung pada jumlah molekul H₂O yang terikat pada karat.

Kafein yang terdapat pada inhibitor ekstrak daun teh merupakan salah satu senyawa yang mengandung gugus nitrogen yang memiliki elektron bebas, sehingga

kafein dapat digunakan sebagai inhibitor korosi. Gugus nitrogen ini berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap besi (II) untuk membentuk senyawa kompleks. Reaksi yang terjadi antara ion besi (II) dengan inhibitor kafein menghasilkan senyawa kompleks inhibitor kafein yang mengandung gugus nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam baja yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gugus Nitrogen Pada Kafein Mendonorkan Elektronnya Pada Ion Besi (II)

Senyawa kompleks yang terbentuk memiliki kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja, sehingga permukaan baja yang diberikan inhibitor akan lebih tahan terhadap korosi.

Inhibitor akan teradsorpsi pada permukaan logam yang membentuk lapisan tipis yang hidrofobik sehingga mengisolasi permukaan dengan lingkungannya. Adsorpsi inhibitor ke permukaan logam disebabkan oleh gaya tarik elektrostatis antara muatan ion dengan muatan listrik antar muka logam pada permukaan baja karbon (Sulistioso *et al.*, 2013).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Jan Ady, S.Si, M.Si dan Bapak Drs. Siswanto, M.Si selaku dosen pembimbing, saya ucapkan terima kasih atas semua bimbingannya, kesabaran, dorongan semangat dan waktu yang telah diberikan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM. 2004. Standard Specification For Seamless Carbon Steel Pipe For High-Temperature Service. West Conshohocken. United States.

Laily, Derry. 2010. Pemanfaatan Ekstrak Buah Lada (*Piper Nigrum Linn*), Buah Pinang (*Areca Cathecu Linn*) Dan Daun Teh (*Cammelia Sinensis L. Kuntze*) Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Larutan Garam. Skripsi

Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya

Ludiana, Yonna, Handani, Sri. 2012. Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Teh (*Cammelia Sinensis*)

Terhadap Laju Korosi Baja Karbon *Schedule 40 Grade B ERW*. Jurnal Fisika Unand Volume 1 Nomor 1.

Sulistioso, Giat *et al.* 2013. Pengaruh Inhibitor Kafeina Pada Laju Korosi Dan Struktur Mikro Baja Karbon

KS01 Dan AISI 1045 Dalam Media Air laut. Jurnal Iptek Nuklir Ganendra Volume 16 Nomor 2.

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) BATAN, Jurusan Kimia Universitas Padjajaran. Bandung.

POLY-L-LACTID ACID (PLLA) DENGAN COATING CHITOSAN SEBAGAI KANDIDAT SPRING-LOADED SILO UNTUK BAYI PENDERITA GASTROSCHISIS

Dio Nurdin Setiawan^{1*}, Rizki Firsta Wahyuliawari¹, Evelyne Calista¹, Azizah Fresia Rosdiani¹, Ewing Dian Setyadi¹, Prihartini Widiyanti¹

¹ Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya

*ionurdin10@gmail.com

Abstrak

Gastroschisis merupakan suatu permasalahan kesehatan yang banyak dialami khususnya pada bayi yang baru lahir. Gastroschisis adalah defek mayor dalam penutupan dinding abdomen, sehingga visera tidak tertutup dinding abdomen dan herniasi. Berdasarkan informasi Department of State Health Service Texas, 2003, Indonesia mungkin merupakan negara yang beresiko tinggi terjadinya gastroschisis karena dari penelitian terdapat resiko penyebab gastroschisis yaitu, kehamilan pada usia sangat muda (karena pernikahan di usia muda), paritas tinggi (semakin banyak kelahiran pada satu ibu semakin tinggi kemungkinan terkena gastroschisis), walau hal ini masih dikaitkan dengan kehamilan pada usia tua, kekurangan asupan gizi, pada ibu hamil. Salah satu solusinya untuk penanganan kasus gastroschisis ialah penggunaan teknik silo, atau biasa di kenal springs-loaded silo. Penggunaan suatu material alam ataupun material sintetis yang digunakan sebagai peritoneum yang bertujuan membungkus isi cavum abdomen yang berasal dari poly l-lactid acid (PLLA) sehingga dapat dimasukkan kembali ke dalam rongga abdomen. Kemudian membran silo yang telah dicetak dilapisi atau dicoating dengan 3 variasi yaitu chitosan, chitosan dengan kolagen, dan yang terakhir chitosan-kolagen-gluteraladehid untuk meningkatkan antibakteri, meningkatkan kekuatan mekanik dan diharapkan lebih biokompatibilitas. Tensile strength untuk setiap variasi adalah 29,527 MPa (PLLA), 15,35 MPa (PLLA-chitosan), 6,24 MPa (PLLA-chitosan-kolagen), 9,095 MPa (PLLA-chitosan-kolagen-gluteraladehid). Spring-loaded silo ini tidak bersifat toksik, sebab dari hasil semua variasi yang dilakukan selama Uji MTT Assay didapatkan hasil uji melebihi persentase batas minimal sel hidup yaitu lebih dari 60 %. Dari hasil uji SEM, permukaan silo tidak terlihat porinya dikarenakan pori membran sangatlah kecil. Ukuran pori ini sesuai dengan literatur bahwa pori dari lapisan abdomen memiliki ukuran pori 0.1 – 10 mikro.

Kata kunci : poly l-lactid acid (PLLA), spring loaded silo, chitosan, kolagen, glutaraldehid

PENDAHULUAN

Gastroschisis merupakan suatu permasalahan kesehatan yang banyak dialami khususnya pada bayi yang baru lahir. Gastroschisis adalah defek mayor dalam penutupan dinding abdomen, sehingga visera tidak tertutup dinding abdomen dan herniasi menembus defek pada lateral umbilikus (biasanya pada sisi kanan dimana terjadi involusi vena umbilikal kedua) sehingga terjadi eviserasi dari isi cavum abdomen (Wheeler, 2002). Indonesia mungkin merupakan negara yang beresiko tinggi terjadinya gastroschisis karena dari penelitian terdapat resiko penyebab gastroschisis yaitu, kehamilan pada usia sangat muda (karena pernikahan di usia muda), paritas tinggi (semakin banyak kelahiran pada satu ibu semakin tinggi kemungkinan terkena gastroschisis), walau hal ini masih dikaitkan dengan kehamilan pada usia tua, kekurangan asupan gizi, pada ibu hamil (Marc, 2003; W.Gerald, 2003).

Seiring meningkatnya penderita gastroschisis di Indonesia, namun sampai sekarang silo sendiri masih di datangkan dari luar negeri dengan jumlah yang terbatas. Pembuatan silo untuk gastroschisis pada umumnya menggunakan bahan silikon, namun di Indonesia banyak yang masih meragukan silikon, maka banyak alternative bahan selain silastic atau silikon ini yaitu salah satunya Poly-L-Lactid Acid (PLLA). Pemilihan material PLLA ini dikarenakan sifat PLLA yang elastis, tahan degradasi dalam waktu yang cukup lama, trombogenesisnya rendah, reaksi antara organ tubuh dan obat yang akan di berikan di dalam silo

terhadap material ini rendah (Adams, 1995). Pemanfaatan PLLA sendiri sebagai *spring-loaded silo* membutuhkan *coating* chitosan. Chitosan merupakan biopolimer alam yang penting dan bersifat polikationik sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti adsorben logam, penyerap zat warna tekstil, bahan pembuatan kosmetik serta agen antibakteri (Bhuvana, 2006). Penambahan *coating* chitosan ini dimaksudkan untuk meningkatkan sitokompatibilitas, meningkatkan proliferasi dan *cell attachment* sehingga diharapkan *spring-loaded silo* (Mathews et al, 2011).

BAHAN DAN METODE BAHAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah PLLA (*Poly L-Lactic Acid*) dari Polysitech dengan berat molekul 100-125 kDa; Klorofom Merck (USA); Toluena yang dibeli dari Merck (USA); dan kitosan dari cangkang kepiting deasetilasi lebih dari 80% berat molekul 430.000 dengan konsentrasi 1% wt, aquades.

METODE

Pembuatan *spring-loaded silo* diawali dengan melarutkan polimer sintetis *Poly – L – Lactic Acid* (PLLA) dengan bentuk menyerupai kapas ke dalam pelarutnya yaitu klorofom - toluena. Setelah 14 jam dilarutkan pada pelarutnya maka larutan terlihat bening yang berarti bahwa larutan telah homogen. Kemudian

proses pembentukan *spring-loaded silo* dicetak menggunakan lempengan stainless, lalu direndam beberapa saat dengan koagulan agar membran *spring-loaded silo* terlepas dari cetakannya. Kemudian dilanjutkan dengan proses *coating* kitosan dengan metode *dip coating* selama 30 menit pada suhu 25°C dan dikeringkan dengan pengurangan tekanan pada 30°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini sampel dilakukan dengan beberapa variasi yang pertama ialah dengan membuat

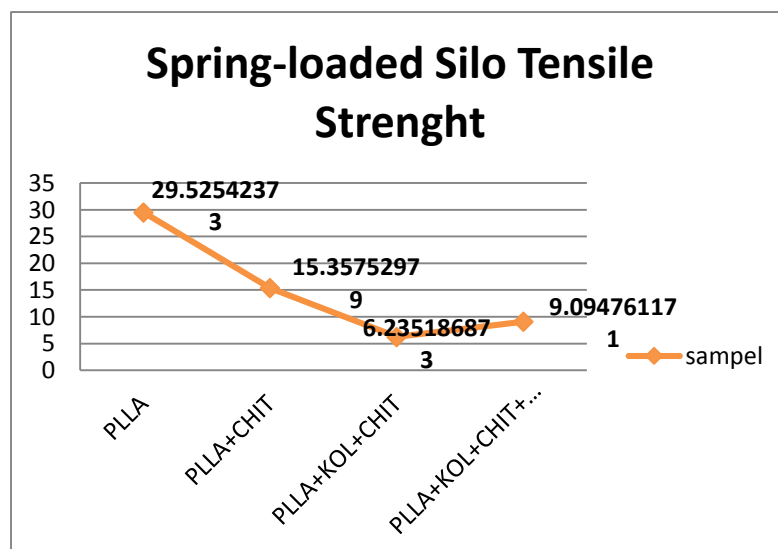
silo dengan bahan PLLA 15% (w/v), yang kedua dengan PLLA 15% (w/v) dengan *coating* kitosan 1% dalam aquades, yang ketiga yaitu PLLA ditambah dengan kolagen 3:1 (15%) dengan *coating* kitosan 1% dan yang terakhir yaitu PLLA ditambah dengan kolagen 3:1 (15%) dengan *coating* kitosan 1% ditambah 0.05 M glutaraldehid.

Pada uji kekuatan tarik merupakan gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh biomaterial selama pengukuran berlangsung hingga biomaterial terputus, sehingga kuat tarik dari suatu biomaterial sangat berpengaruh terhadap kualitas dari biomaterial tersebut

Tabel 4. 1 Hasil uji tarik spring-loaded silo PLLA

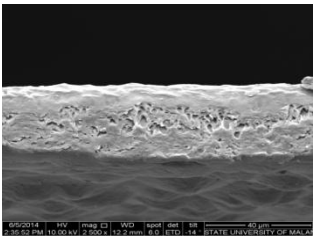
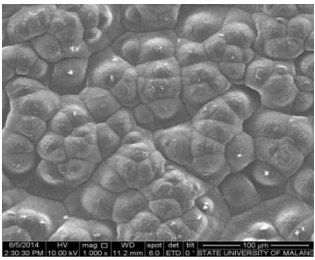
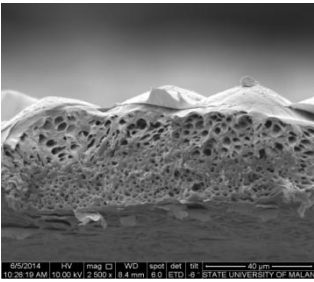
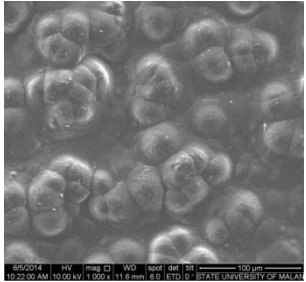
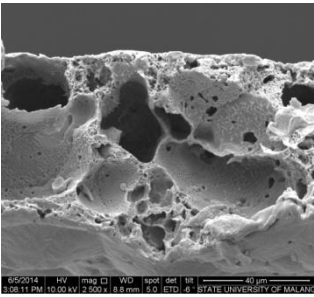
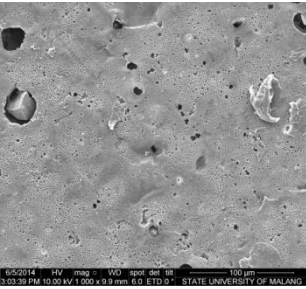
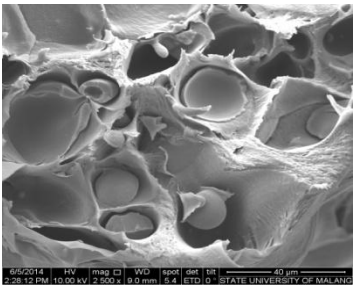
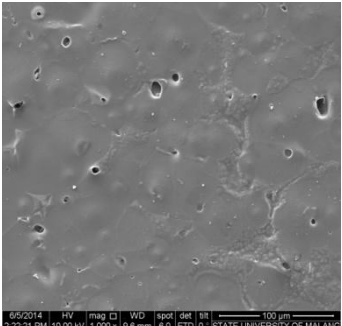
Sampel	Gaya	Lebar (cm)	Tinggi (µm)	Kuat Tarik (Mpa)
PLLA	4,355	0,5	29,5	29,53
PLLA-kitosan	9,45	0,5	61,53	15,357
PLLA-kolagen-kitosan	2,85	0,5	91,42	6,235
PLLA-kolagen-kitosan-glutaraldehid	3,935	0,5	86,53	9,095

Nilai kuat tarik ini didapatkan dari rumus *Tensile strength* yaitu gaya dibagi dengan luas permukaan. Hasil kuat tarik yang didapatkan di gambar pada grafik hubungan beberapa variasi bahan.



Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan variasi bahan terhadap silo PLLA berpengaruh terhadap uji kuat tarik, Hasil terbaik dari variasi bahan sebagai kandidat spring loaded silo didapatkan pada PLLA ditambah kolagen dengan *coating* kitosan dan glutaraldehid yaitu 9,095 MPa.

Pada Uji morfologi dilakukan untuk mengetahui struktur permukaan suatu material menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Perbesaran yang dilakukan ialah 1000X dan 2500X. Hasilnya ialah sebagai berikut

Sampel	Foto Cross-section	Foto Permukaan
PLLA		
PLLA-kitosan		
PLLA-kolagen-kitosan		
PLLA-kolagen-kitosan-glutaraldehyd		

Hasil ukuran ketebalan dapat dilihat seperti pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Nilai ketebalan spring-loaded silo PLLA

Sampel	Range Tebal (μm)	\bar{X} Tebal (μm)
PLLA	25,65 – 30,91	28,798

PLLA-kitosan	24,77 – 35,84	28,265
PLLA-kolagen-kitosan	49,01 – 62.49	57.278
PLLA-kolagen-kitosan-glutaraldehid	56.56 – 106.7	81.66

Ketebalan yang dihasilkan dari spring loaded silo PLLA ini berkisar antara 28,798 – 81.66 μm dengan pori yang sangat kecil ialah 0.1-10 μm , dengan pori yang kecil dapat menghambat keluarnya cairan tubuh dan menghambat masuknya mikroorganisme dari luar tubuh.

MTT merupakan salah satu uji sitotoksitas yang dilakukan secara *in vitro* dengan menggunakan

kultur sel, atau dapat disebut uji enzimatis dengan pereaksi 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)2,5-diphenyl tetrazolium bromide (MTT). Garam tetrazolium diperoleh dari pereduksi sistem suksinat tetrazolium menjadi kristal formazan. Uji ini biasa digunakan untuk mengukur proliferasi seluler secara kuantitatif atau untuk mengukur jumlah sel yang hidup (Rosanna, 1990).

Tabel 4.3 Hasil uji sitotoksitas spring-loaded silo PLLA

Nama	\bar{X} OD	% Sel Hidup
Kontrol Media	0,116	-
Kontrol Sel	0,332	-
PLLA	0,2679	85,69
PLLA-kitosan	0,2886	90,3
PLLA-kolagen-kitosan	0,3072	94,46
PLLA-kolagen-kitosan-glutaraldehid	0,2822	88,88

Dari data di atas didapatkan prosentasi sel hidup pada 95 % - 94%. Hal tersebut menandakan bahwa sebagian besar sel BHK-21 bertahan hidup saat terpapar material dan material tidak bersifat toksik. Menurut Meiyanto *et al.* tahun 2008 mengatakan bahwa suatu material toksik apabila persentase sel hidup terpapar kurang dari 50%,

KESIMPULAN

Poly-L-Lactid Acid (PLLA) dengan *coating* chitosan memiliki potensi sebagai kandidat *spring-loaded silo* berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, yaitu uji kekuatan tarik, uji morfologi dan uji MTT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu menyelesaikan penyusunan artikel ilmiah ini diantaranya Dr.Prihartini Widiyanti, drg, M.Kes, seluruh anggota penelitian, dan teman – teman Teknobiomedik angkatan 2010 serta 2011.

DAFTAR PUSTAKA

Czubenko, Jadwiga Ostrowska. Milena, Pierog. Magdalena, Gierszewska-Druzynska. 2011. *State Of Water In Noncrosslinked And*

Crosslinked Hydrogel Chitosan Membrane – DSC Studies. Progress on Chemistry And Application of Chitin. Volume XVI.

Hu, J. *et al.* 2010. *Porous Nanofibrous PLLA Scaffolds for Vascular Tissue Engineering*. Biomaterials (31) : 7971-7977

Loadman J. Abdominal Wall Defects (Exomphalos and Gastroschisis).

Prabaharan, M. M, A Rodriguez-Perez,J, A de Saja. J. F Mano. 2006. *Preparation and Characterization of Poly (L-Lactic Acid)-Chitosan Hybrid Scaffold With Drug Release Capability*. Wiley InterScience DOI 10;1002/jbm.b.30680.

Ramachandran, S. Satyamoorthy, N. Magharla, Dasaratha D. 2011. *Formulation and Characterization of Glutaraldehyde Cross-Linked Chitosan Biodegradable Microspheres Loaded with Famotidine*. Trop J Pharm Res, June 2011;10 (3):310.

Sinha, V.R. Singla, A.K. Wadhawan, S. Kaushik, R. Kumria, R. Bansal, K. Dhawan, S. 2004. *Chitosan Microsphere as a Potensial Carrier for Drug*. Int J. Pharm. p 1-33

Wheeler M, M.D. Practical Anesthetic Management for
Neonatal Surgical Emergencies. Chicago,
Illionis. 2002.

KARAKTERISASI MORFOLOGI VARIASI COATING KITOSAN-GLUTARALDEHID TERHADAP HOLLOW-FIBER POLY L-LACTIC ACID (PLLA) SEBAGAI KANDIDAT PEMBULUH DARAH

Dio Nurdin Setiawan¹, Prihartini Widiyanti², Djoni Izak R.³

^{1,2,3}Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya
ionurdin10@gmail.com

Organisasi kesehatan dunia (WHO) tahun 2010 telah mencatat sekitar 30% jumlah penduduk di Indonesia meninggal akibat penyakit jantung dan pembuluh darah. Penggunaan pembuluh darah sintetis merupakan salah satu penanganan pada penyakit jantung dan pembuluh darah. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui konsentrasi glutaraldehid terbaik dari hasil karakterisasi morfologi dan memahami prosesnya. Proses pembuatan hollow-fiber Poly L-Lactid Acid (PLLA) coating kitosan-glutaraldehid sebagai kandidat pembuluh darah dengan menggunakan metode spinneret dan dip coating. Hasil uji morfologi didapatkan ukuran diameter antara 3,062 mm – 3,572 mm dimana ukuran ini sesuai dengan diameter pembuluh darah sintetis yang dapat digunakan pada pembuluh darah jantung, serta ukuran pori glutaraldehid 0,01 M (2,101 - 5,973 μ m) mendekati nilai pembuluh darah sintetis aplikasi yaitu sekitar 5 μ m. Berdasarkan hasil karakteristik morfologi pada penelitian ini, hollow-fiber Poly L-Lactid Acid (PLLA) coating kitosan-glutaraldehid memiliki potensi sebagai kandidat pembuluh darah.

Kata kunci: Poly L – Lactic Acid, hollow-fiber, spinneret, glutaraldehid pembuluh darah

PENDAHULUAN

Pada tahun 2010 organisasi kesehatan dunia (WHO) juga telah mencatat sekitar 30% jumlah penduduk di Indonesia yang meninggal akibat penyakit kardiovaskular, angka tersebut akan terus bertambah dikarenakan pola hidup yang kurang sehat, yaitu salah satunya budaya konsumsi *junk food* atau makanan cepat saji. Adapun kelainan pembuluh darah salah satunya ialah penyempitan pembuluh darah diakibatkan tingginya LDL/kolesterol atau biasa disebut aterosklerosis (Rosyid, 2009). Aterosklerosis sendiri dalam dunia kesehatan di terapi dengan menggunakan obat, namun apabila telah parah dapat digunakan teknik rekayasa jaringan. Berdasarkan data yang ada, penanganan kasus aterosklerosis dengan melalui operasi baik sten atau pembuluh darah buatan cukup tinggi. Banyak material sintetis yang dapat digunakan sebagai pembuluh darah, salah satu kandidatnya dari golongan polimer. Polimer tersebut ialah *Poly L-Lactic Acid* (PLLA).

Pemanfaatan PLLA digunakan untuk mengatur laju biodegradasi pada vascular graft, serta pada PLLA sesuai dengan tes kultur sel pada aplikasi *stem cell* pembuluh darah (Pavia *et al*, 2010). Penambahan coating kitosan pada kandidat pembuluh darah ini ditujukan untuk meningkatkan sitokompatibilitas serta meningkatkan proliferasi dan *cell attachment* pada permukaan kandidat *vascular graft*. Dalam bidang kesehatan, kitosan memiliki kemampuan untuk menurunkan jumlah kolesterol, antikoagulan dalam darah serta digunakan sebagai agen anti bakteri (Wiyarsi, 2007). Penambahan variasi glutaraldehid pada *hollow-fiber* ini diharapkan berkontribusi pada perbaikan karakteristik morfologi pembuluh darah sintetis (Prabaharan, *et al*, 2006).

BAHAN DAN METODE

BAHAN

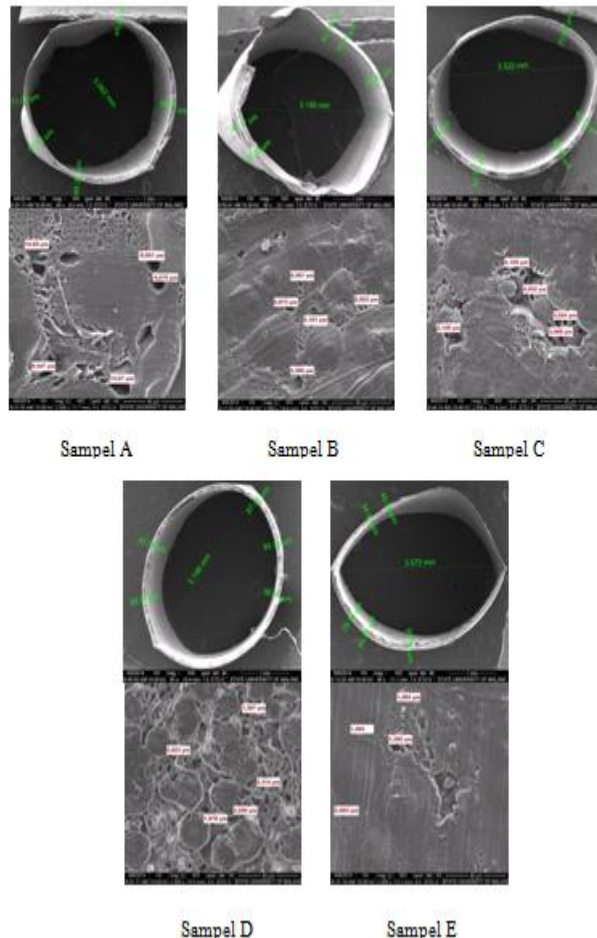
Bahan yang digunakan untuk pembuatan *hollow-fiber Poly L-Lactic Acid* (PLLA) coating kitosan sebagai kandidat pembuluh darah dengan pengaruh variasi penambahan glutaraldehid adalah PLLA produk *polysitech*, toluena, kloroform, kitosan dari cangkang kepiting deasetilasi lebih dari 80% berat molekul 430.000 dengan konsentrasi 1% wt, asam asetat, glutaraldehid 25% *Merck*, dan aquades

METODE

Pembuatan sediaan untuk sampel *hollow-fiber* ini pertama diawali membuat campuran antara PLLA dan pelarutnya. 0,9 gr PLLA dalam larutan kloroform dan toluena (5:1) dengan memanfaatkan *magnetic stirrer* sampai PLLA larut dan sedikit kental. Pada pembuatan kitosan dengan penambahan variasi glutaraldehid sebagai larutan coating, pertama 1 wt% kitosan dilarutkan dalam 1% asam asetat, lalu kitosan dilarutkan hingga homogen dengan *magnetic stirrer* selama kurang lebih 3 jam dengan suhu 25 °C. Variasi konsentrasi glutaraldehid yang digunakan adalah 0,01 M (sampel B), 0,05 M (sampel C), 0,1 M (sampel D) dan 0,15 M (sampel E). PLLA *hollow-fiber* yang sudah jadi sebelumnya dicoating dengan kitosan yang telah dicampur dengan glutaraldehid dengan berbagai variasi persentase konsentrasi 0,01 M (sampel B), 0,05 M (sampel C), 0,1 M (sampel D) dan 0,15 M (sampel E). Metode coating yang digunakan ialah *dip coating* atau perendaman. Proses coating sekitar 30 menit, kemudian dikeringkan pada suhu 30° C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui struktur morfologi dari sampel ini dilakukan pengujian *scanning electron microscope* (SEM). Hasil uji SEM berupa struktur permukaan dan ukuran pori dari sampel dengan variasi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil pengujian SEM dari sampel *hollow-fiber PLLA coating* kitosan-glutaraldehyd dengan variasi komposisi glutaraldehyd (A) 0 M (B) 0,01 M (C) 0,05 M (D) 0,1 M, dan (E) 0,15 M

Ukuran diameter, ketebalan dan pori pada sampel *hollow-fiber PLLA coating* kitosan-glutaraldehyd dapat diukur menggunakan garis skala yang terdapat pada gambar hasil SEM. Pengukuran diameter *hollow-fiber*, diameter pori dan ketebalan dinding pada kelima sampel *hollow-fiber* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2. Sedangkan hasil pengukuran diameter sampel, diameter pori, dan ketebalan sampel *hollow-fiber PLLA coating* kitosan-glutaraldehyd disajikan pada Tabel 4.2. Dari hasil Tabel 4.2 menunjukkan bahwa pada semua sampel *hollow-fiber*, ukuran diameter sampel rata - rata menunjukkan angka sekitar 3 mm. Pembentukan diameter sampel pada rata – rata 3 mm, salah satunya

sangat dipengaruhi oleh pemilihan ujung jarum spinneret (Peng *et al*, 2012).

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran diameter sampel, diameter pori, dan ketebalan sampel *hollow-fiber PLLA coating* kitosan-glutaraldehyd

Sampel	Variasi Konsentrasi Glutaraldehyd	Diameter (mm)	Sampel	Diameter Pori (μm)
A	0 M	3,062		8,951 – 13,07
B	0,01 M	3,148		2,101 – 5,973
C	0,05 M	3,522		3,128 – 4,522
D	0,1 M	3,198		1,287 – 2,923
E	0,15 M	3,572		1,282 – 2,683

Berdasarkan hasil SEM didapatkan nilai ukuran diameter sampel A hingga E, pada diameter sampel A (0 M) tanpa pemberian konsentrasi glutaraldehyd 3,062 mm. Pada sampel B dengan perlakuan variasi konsentrasi glutaraldehyd 0,01 M hingga sampel E secara berurutan 0,05 M, 0,1 M dan 0,15 M memiliki hasil sekitar 3 mm. Menurut Zilla and Greisler tahun 1999, hasil ini sesuai dengan standar diameter pembuluh darah sintesis yang dapat diaplikasikan untuk pembuluh darah jantung ialah sekitar 3 - 4 mm.

Pada pengukuran diameter pori didapatkan rentang ukuran pori yang semakin menurun sesuai dengan bertambahnya variasi glutaraldehyd. Pada saat proses pembuatan larutan *coating*, semakin banyak variasi glutaraldehyd, maka semakin banyak kitosan yang berikatan secara kimia dengan glutaraldehyd. Seperti pada sampel A, yang hanya diberi *coating* kitosan diameter pori yang terbentuk rentang 8,951 – 13,07 μm . Kemudian pada sampel B dapat dilihat hasil dari penambahan glutaraldehyd diameter pori yang terbentuk rentang mengecil yaitu 2,101 – 5,973 μm . Pori yang terlihat semakin mengecil sesuai gambar SEM, sampel C dengan variasi glutaraldehyd 0,05 M memiliki rentang pori 3,128 – 4,522 μm , sampel D (0,1 M) memiliki rentang pori 1,287 – 2,923 μm dan Sampel E (0,15 M) yaitu 1,282 – 2,683 μm . Semakin banyak konsentrasi glutaraldehyd yang diberikan maka semakin kecil ukuran pori yang akan dihasilkan.

Pengaruh variasi konsentrasi glutaraldehyd pada sampel membran *hollow-fiber* akan memberikan perbedaan terhadap struktur permukaan pada sampel (Ramachandran *et al*, 2011). Semakin kecil ukuran pori pada sampel, maka material tersebut mempunyai sifat yang cenderung lebih kuat pada uji kekuatan tarik, sedangkan semakin besar pori, maka sampel akan mempunyai sifat rapuh. Menurut Zhang *et al* (2004), pada pembuluh darah sintesis memiliki ukuran pori terendah sekitar 5 μm , sehingga yang mendekati hasil terdapat pada sampel B yaitu 2,101 – 5,973 μm . Hasil dari struktur morfologi kelima sampel yang tersaji pada SEM, dapat terlihat bahwa morfologi ukuran pori dan diameter sampel sudah sesuai dengan pembuluh darah arteri yang dapat diaplikasikan.

Zilla, Peter. Greisler, Howard P. 1999. Tissue Engineering of Vascular Prosthetic Grafts. R G Landes Company. Austin, Texas USA

KESIMPULAN

Uji morfologi pada variasi *coating* kitosan-glutaraldehid terhadap *hollow-fiber poly l-lactic acid* (plla) memiliki ukuran pori semakin kecil dan rapat sesuai dengan penambahan variasi, diameter *hollow-fiber* yang terbentuk telah sesuai dengan diameter pembuluh arteri sehingga memiliki potensi sebagai kandidat pembuluh darah

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu menyelesaikan penyusunan artikel ilmiah ini diantaranya Dr.Prihartini Widiyanti, drg. M.Kes, Drs. Djoni Izk R, M.Si, Zahrina Mardina, S.T, Riki Siswanto, S.T dan teman – teman Teknobiomedik angkatan 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Pavia, Francesco Carfi. Salvatrice, R. Vincenzo, L C. Gianluca, A M. Giulio, G. Valerio, B. 2012. *Poly Lactic Acid Based Scaffolds for Vascular Tissue Engineering*. AIDIC, DOI: 10.3303/CET1227069
- Peng, Na. Natralia, Widjojo. Panu, Sukitpaneenit. May, May Teoh. G, Glenn Lipscomb. Tai-Shung, Chung. Juin-Yih, Lai. *Evolution of Polymeric Hollow Fiber as Sustainable technologiest: Past, Present, and Future*. Progpolymsci.2012.01.001
- Prabaharan, M. M, A Rodriguez-Perez.J, A de Saja. J. F Mano. 2006. *Preparation and Characterization of Poly (L-Lactic Acid)-Chitosan Hybrid Scaffold With Drug Release Capability*. Wiley InterScience DOI 10;1002/jbm.b.30680.
- Ramachandran, S. Satyamoorthy, N. Magharla, Dasaratha D. 2011. *Formulation and Characterization of Glutaraldehyde Cross-Linked Chitosan Biodegradable Microspheres Loaded with Famotidine*. Trop J Pharm Res, June 2011;10 (3):310.
- Rosyid, Fahrur Nur. 2009. Peranan Lipoprotein Terhadap Terjadinya Aterosklerosis pada Arterikoronaria. Surabaya : Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Wiyarsi, Antuni. Erfan, Priyambodo. 2007. Pengaruh Konsentrasi Kitosan dari Cangkang Udang Terhadap Efisiensi Penyerapan Logam Berat. Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Zhang, Ze. Zhaoxu, W. Shuqin, L. Makoto, K. 2004. Pore size, tissue ingrowth, and endothelialization of small-diameter microporous polyurethane vascular prostheses. Biomaterials Volume 25, Issue 1, January 2004, Pages 177–187

KARAKTERISTIK MORFOLOGI *HOLLOW FIBER POLY L-LACTIC ACID (PLLA)* – KOLAGEN BERLAPIS KITOSAN SEBAGAI KANDIDAT PEMBULUH DARAH

Dita Ayu Mayasari^{1,a}, Prihartini Widiyanti¹, Djoni Izak Rudyardjo¹

¹ Program Studi Teknobiomedik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

^aEmail : mayasari.dita@gmail.com

Abstrak

Pembuluh darah berdiameter kecil (< 6 mm) masih menjadi tantangan karena sering terjadi trombogenesis. Karakteristik permukaan memiliki peran penting untuk menentukan hemokompatibilitasnya karena kontak langsung dengan darah dan jaringan sekitarnya. Struktur permukaan sangat mempengaruhi terjadinya endotelialisasi yang akan meningkatkan hemokompatibilitasnya sehingga mencegah terjadinya trombogenesis. PLLA merupakan salah satu polimer yang berpotensi untuk rekonstruksi rekayasa jaringan vascular graft dibentuk menjadi hollow fiber dengan penambahan kolagen dan dilapisi kitosan sebagai pembuluh darah artifisial berdiameter kecil. Kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi hollow fiber. PLLA yang dicampur dengan kolagen dibentuk menjadi hollow fiber dengan menggunakan spinneret. Kemudian dilapisi dengan kitosan yang divariasi konsentrasinya yaitu 0,5 %, 0,75 %, 1 %, 1,25% dan 1,5%. Kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi hollow fiber. Didapatkan diameter hollow fiber berkisar dari 2,225-2,955 mm, ketebalan hollow fiber berkisar dari 90,65-236,26 µm, dan ukuran pori hollow fiber berkisar 4,525-18,06 µm. Berdasarkan hasil uji morfologi hollow fiber PLLA-kolagen berlapis kitosan memiliki ukuran pori yang memenuhi standar ukuran pori untuk terjadinya endotelialisasi sehingga hollow fiber PLLA-kolagen berlapis kitosan berpotensi sebagai kandidat pembuluh darah.

Kata Kunci : PLLA, kolagen, kitosan, *hollow fiber*, vascular graft

PENDAHULUAN

Di Indonesia, penyakit jantung dan pembuluh darah (PJPD) telah menduduki peringkat pertama sebagai penyebab utama kematian umum pada tahun 2001 dari hasil Survei Kesehatan Rumah Tangga (SKRT) 2001 sebesar 26,3% kematian. Penyakit ini sebagai penyebab kematian lebih tinggi di perkotaan (31%) daripada di pedesaan (23,7%) namun hampir tidak berbeda menurut jenis kelamin. (Surkesnas, 2001). Seringkali penyakit ini mengakibatkan kematian mendadak dan bisa menyerang pada semua golongan usia. Penelitian yang dilakukan Kementerian Kesehatan (2007) penyakit jantung merupakan penyebab kematian tertinggi di Indonesia dengan jumlah kematian lebih dari 220.000 jiwa per tahun.

Pada saat ini terdapat beberapa solusi yang tersedia bagi penderita PJK yang disebabkan oleh arterosklerosis koroner, yaitu dengan menggunakan pengobatan farmakologis, pemasangan *stent*, dan revaskularisasi miokard. Pada revaskularisasi miokard terdapat dua cara yang terbukti baik untuk penderita PJK yaitu dengan tindakan intervensi perkutan (*percutaneous coronary intervention* = *PCI*) dan dengan menggunakan *bypass* (*coronary artery bypass surgery* = *CABG*). *Bypass* merupakan solusi akhir bagi penderita PJK dengan membuat saluran baru melewati bagian arteri koroner yang mengalami penyempitan maupun penyumbatan sehingga aliran darah menjadi lancar kembali. Suatu material pengganti pembuluh darah diperlukan untuk material *bypass* yang aman dengan menggunakan material alami maupun sintesis.

Pembuluh darah buatan dari polimer sintesis telah berhasil digunakan dalam aplikasi pembuluh darah berdiameter besar (diameter dalam > 6 mm) (Soffer *et al*, 2008), pembuluh darah berdiameter kecil (< 6 mm) masih menjadi tantangan karena sering terjadi trombogenesis (Milleret *et al*, 2012).

Karakteristik permukaan memiliki peran penting untuk menentukan hemokompatibilitasnya karena kontak langsung dengan darah dan jaringan sekitarnya (Shen *et al*, 2009). Struktur permukaan sangat mempengaruhi terjadinya endotelialisasi yang akan meningkatkan hemokompatibilitasnya sehingga mencegah terjadinya trombogenesis.

PLLA merupakan salah satu polimer yang berpotensi untuk rekonstruksi rekayasa jaringan vascular graft (Hu *et al*, 2010), yang dapat terdegradasi (Ballarin *et al*, 2008) dan memiliki biokompatibilitas yang baik dan juga memiliki sifat mekanik yang sesuai (Yuan *et al*, 2000), dibentuk menjadi *hollow fiber* dengan penambahan kolagen dan dilapisi kitosan sebagai pembuluh darah artifisial berdiameter kecil. Kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi *hollow fiber*.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Hollow Fiber PLLA - Kolagen

Pembuatan *hollow fiber* PLLA-kolagen diawali dengan membuat larutan PLLA dengan konsentrasi 20% menggunakan campuran kloroform-toluen (5:1) dan membuat larutan kolagen 1% menggunakan DMSO. PLLA yang telah dilarutkan dicampur dengan larutan kolagen yang telah dibuat dengan perbandingan 2:1 menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 menit pada suhu kamar. Kemudian larutan yang terbentuk didiamkan selama \pm 24 jam untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap. Selanjutnya larutan dibentuk menjadi *hollow fiber* menggunakan *spinneret* dengan alkohol sebagai koagulan.

Pelapisan Hollow Fiber dengan Kitosan

Kitosan dilarutkan dalam 1% (v/v) larutan asam asetat untuk membuat larutan kitosan dengan

konsentrasi 0,5; 0,75; 1,00; 1,25 dan 1,5 (wt/v %). Selanjutnya ditambahkan 1N NaOH agar mencapai pH 6 untuk menghilangkan partikel yang tidak terlarut yang dapat menggumpal setelah pengeringan. Setelah larutan kitosan siap untuk digunakan, *hollow fiber* PLLA-kolagen yang telah terbentuk direndam pada larutan kitosan selama 30 menit. Kemudian *hollow fiber* yang telah direndam dengan kitosan di bekukan dengan suhu -80°C selama tiga jam dan selanjutnya divakum hingga sampel menjadi kering.

Uji Morfologi

Uji morfologi dengan menggunakan SEM (Inspect S50. FEI Corp., Jepang). Sampel dipotong membujur untuk mengukur diameter *hollow fiber* dan ketebalan dindingnya dan dipotong melintang untuk mengetahui morfologi bagian dalam *hollow fiber*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dihasilkan *hollow fiber* dengan diameter yang berkisar antara 2,225 – 2,955 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semua sampel dapat diaplikasikan sebagai arteri koronaria. Menurut Ajayi *et al* (2013), arteri koronaria kanan memiliki diameter 2,1 – 6,5 mm.

Ketebalan dinding sampel A-F bervariasi antara 90,65 - 236,26 μm , ketebalan dinding ini masih jauh dengan ketebalan dinding pembuluh darah yang

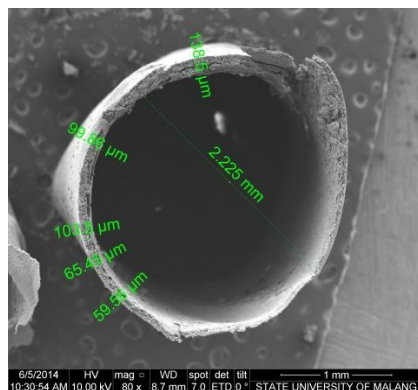
asli yang berkisar antara 1,52-1,89 mm untuk pembuluh darah arteri. Ketebalan dinding ini dipengaruhi oleh diameter jarum koagulan dalam dengan diameter *spinneret* yang digunakan selain itu juga bisa dipengaruhi oleh *air gap* (Widjojo *et al*, 2006)

Sedangkan untuk pori, Pada sampel A-F ukurannya berkisar antara 4,525-18,06 μm . Pembentukan pori pada *hollow fiber* ini dipengaruhi oleh komposisi larutan, ikatan hidrogen dan temperatur (Peng *et al*, 2013). Pori yang terdapat didalam *hollow fiber* ini akan mempengaruhi perilaku sel (Salem *et al*, 2001). Menurut Narayan dan Venkrataman (2008), ukuran pori akan mempengaruhi respon sel endotel, ukuran pori 5-45 μm akan merangsang pertumbuhan sel endotel yang lebih baik.

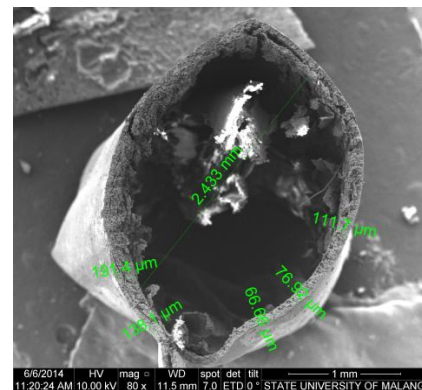
TABEL I

Hasil Uji Morfologi *Hollow fiber* PLLA-Kolagen Berlapis Kitosan

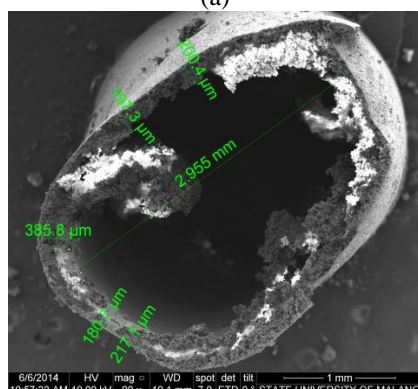
Sampel	Diameter (mm)	Ketebalan Dinding (μm)	Ukuran Pori (μm)
A	2,225	93,37	7,587 – 18,06
B	2,433	116,96	5,231 – 7,039
C	2,955	236,26	6,516 – 10,44
D	2,292	182,66	5,334 – 8,731
E	2,472	90,65	4,585 – 8,256
F	2,466	192,42	4,005 – 10,30



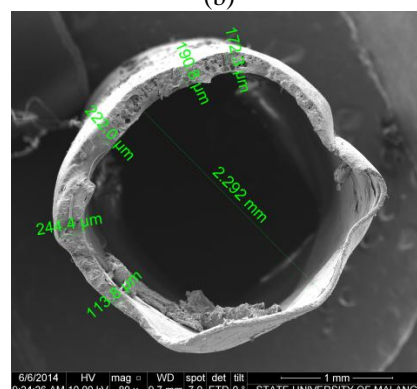
(a)



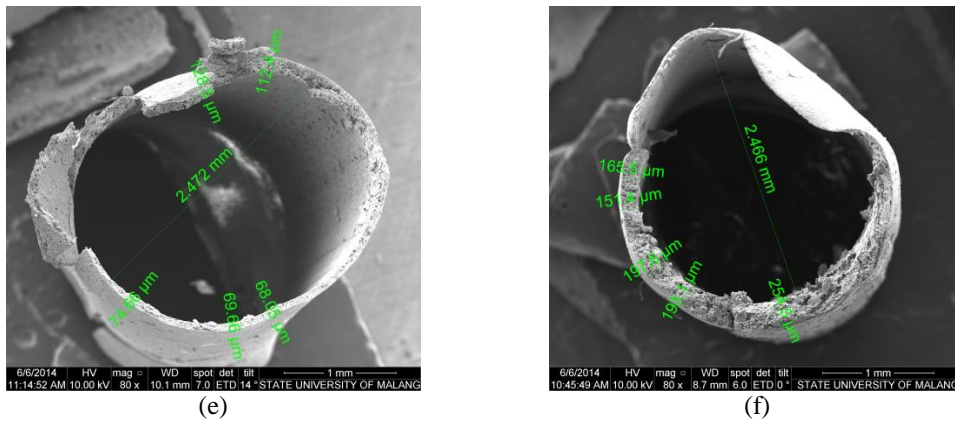
(b)



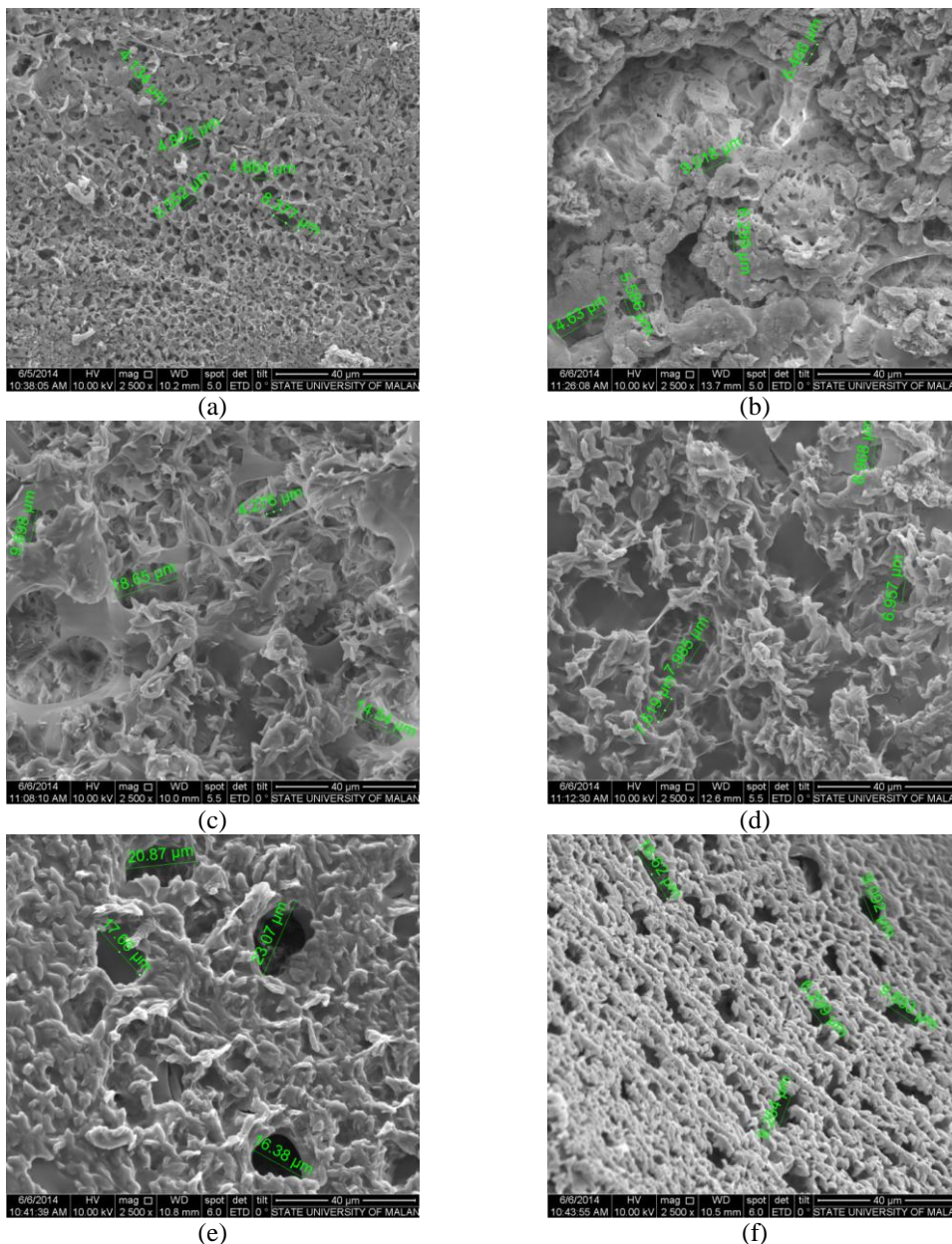
(c)



(d)



Gambar 1. Penampang membujur *hollow fiber* (Perbesaran 80 \times) : PLLA-kolagen (a), PLLA-kolagen berlapis kitosan : 0,5 % (b); 0,75 % (c); 1 % (d); 1,25 % (e); 1,5 % (f).



Gambar 2. Permukaan dalam *hollow fiber* (Perbesaran 2500 \times) : PLLA-kolagen (a), PLLA-kolagen berlapis kitosan : 0,5 % (b); 0,75 % (c); 1 % (d); 1,25 % (e); 1,5 % (f).

KESIMPULAN

Hasil uji morfologi *hollow fiber* PLLA-kolagen berlapis kitosan memiliki ukuran pori yang

memenuhi standard ukuran pori untuk terjadinya endotelialisasi sehingga *hollow fiber* PLLA-kolagen berlapis kitosan berpotensi sebagai kandidat pembuluh darah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajayi, N. O.; Lazarus, L.; Vanker, E. A. & Satyapal, K. S. 2013. Anatomic parameters of the left coronary artery: an angiographic study in a South African population. *Int. J. Morphol.*, 31(4):1393-1398
- J. Hu et al. 2010. Porous Nanofibrous PLLA Scaffolds for Vascular Tissue Engineering. *Biomaterials* (31) : 7971-7977.
- Narayan D, Venkrataman SS. 2008. Effect of Pore Size and Interpore Distance on Endothelial Cell Growth on Polymers. *J. Biomed Mater Res A*.
- Peng et al. 2012. Evolution of Polymeric Hollow fibers as Sustainable Technologies: Past, Present, and Future. *Progress in Polymer Science* (37) 1401-1424
- Shen, Yan, Guixue Wang, Liang Chen, Hao Li, Ping Yu, Mengjun Bai, Qin Zhang, James Lee, Qingsong Yu. 2009. Investigation of Surface Endothelialization on Biomedical Nitinol (NiTi) Alloy : Effects of Surface Micropatterning Combined with Plasma Nanocoatings. *Acta Biomaterial* 5 : 3593-3604
- Soffer, Leah, Xianyan Wang, Xiaohui Zhang, Jonathan Kluge, Luis Dorfmann, David L. Kaplan and Gary Leisk. 2008. Silk-Based Electrospun Tubular Scaffolds for Tissue-Engineered Vascular Grafts. *Journal Biomaterial Science Polymer*. 19 (5) : 653-664
- Tim Surkesnas. Survei Kesehatan Nasional 2002. Laporan SKRT 2001 : Studi Morbiditas dan Disabilitas. Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan
- Widjojo, Natalia and Tai-Shung Chung. 2006. Thickness and Air Gap Dependence of Macrovoid Evolution in Phase-Inversion Asymmetric Hollowfiber Membranes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45 : 7618-7626

SIFAT FISIS POLIMER KOMPOSIT

*Susilawati¹, Aris Doyan², Edy Kurniawan³

¹Program Studi Magister Pendidikan IPA Program Pasca Sarjana

²Universitas Mataram

³SMAN 1 Kediri Lombok Barat

*email : susilawatihambali@yahoo.co.id, arisdoyan@yahoo.co.id, edy_q@ovi.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis polimer komposit serat sabut kelapa menggunakan matrik perekat PVAc. Sifat fisis yang diteliti adalah sifat akustik komposit berupa koefisien serapan bunyi dan sifat mekanik komposit diantaranya kuat tarik dan kuat lentur komposit pada berbagai perbandingan komposisi matrik perekat PVAc terhadap serat sabut kelapa (SSK) yaitu 70:30, 60:40, dan 50:50 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc memenuhi persyaratan untuk peredam suara sesuai ISO 11654, yaitu dengan α di atas 0,15, hasil terbaik diberikan oleh sampel dengan perbandingan matrik perekat PVAc dan SSK masing-masing pada 70:30 (ketebalan 2,00 cm) serta 50:50 (ketebalan 1,26 cm) dengan nilai berkisar dari 0,33-0,41 pada frekuensi rendah. Bertambahnya ketebalan sampel komposit mempengaruhi besar koefisien serapan bunyi pada frekuensi rendah. Pengukuran sifat mekanik komposit untuk kuat tarik mengacu pada ASTM (American society for Testing Materials), berdasarkan hasil penelitian kekuatan tarik rata-rata tertinggi komposit sebesar 20,00 kgf/cm² untuk variasi sampel 70:30 serta perpanjangan tertinggi komposit sebesar 24,16 % kemudian menurun dengan bertambahnya filler serat sabut kelapa. Pengamatan hasil patahan yang terjadi pada komposit memberikan patahan dengan karakteristik berserabut (fibrous) dan gelap (dull), menunjukkan sifat komposit yang kuat dan ulet. Pengukuran kuat lentur untuk melihat Modulus of Rupture (MOR) dan modulus of elasticity (MOE). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa Modulus of Rupture dan modulus of elasticity komposit bertambah besar seiring dengan bertambahnya matrik perekat PVAc, jika ditinjau berdasarkan kekuatan kayu menurut SNI-033527-1994 berdasarkan besar MOR dan MOE komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc tergolong ke dalam kayu kelas V. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi komposit dengan perbandingan 70% matrik perekat PVAc dan 30% filler serat sabut kelapa memberikan sifat mekanik yang lebih baik dan koefisien serapan bunyi yang cukup tinggi dapat digunakan sebagai panel akustik atau peredam suara pada frekuensi rendah.

Kata kunci: komposit, serat sabut kelapa, PVAc, koefisien serapan bunyi, kuat tarik, dan kuat lentur.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang begitu pesat khususnya dibidang informasi dan komunikasi telah mampu memenuhi kebutuhan manusia terhadap peralatan yang dibutuhkan. Seiring dengan penggunaan peralatan tersebut permasalahan lingkungan yaitu kebisingan mulai muncul. Tingkat kebisingan pada suatu alat atau gedung khususnya pada ruangan dapat dikurangi dengan memasang peredam suara (material penyerap kebisingan). Tetapi material penyerap kebisingan (panel akustik) yang tersedia dipasaran saat ini kebanyakan masih relatif mahal dan kurang ramah lingkungan (Himawanto, 2007). Disamping itu peredam suara juga dibutuhkan untuk menciptakan bangunan atau gedung dengan karakteristik akustik tertentu sehingga tercipta kenyamanan bagi penggunanya (Khuriati dan Eko, 2006).

Penyerap atau peredam bunyi (sering disebut sebagai papan akustik) adalah bahan khusus dibuat untuk fungsi menyerap bunyi pada frekuensi tertentu. Pada umumnya karakter fisik bahan akan menentukan kegunaannya. Pemakaian bahan penyerap harus didasari pemahaman akan fungsi akustik ruang: (1) merubah gelombang bunyi menjadi kalor, ditunjukkan dengan adanya pori-pori, (2) merubah gelombang bunyi menjadi mekanis (resonansi), ditunjukkan dengan bahan yang lembek dan mudah bergetar (Satwiko, 2005).

Jenis bahan peredam suara yang sudah ada yaitu bahan panel, resonator dan berpori (Lee dan Changwhan, 2003). Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering digunakan. Khususnya untuk mengurangi kebisingan pada ruang-ruang yang sempit seperti perumahan dan perkantoran. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis peredam lain (Lee dan Changwhan, 2003). Material yang telah lama digunakan pada peredam suara jenis ini adalah *glasswool* dan *rockwool*. Namun karena harganya relatif mahal, berbagai bahan pengganti material tersebut mulai dibuat. Diantaranya adalah berbagai macam gabus maupun bahan berkomposisi serat.

Penelitian pembuatan panel akustik yang berbahan dari serat alam telah dilakukan seperti oleh Koizumi dan Tsujiuchi (2002) yang menggunakan serat bambu sebagai bahan peredam suara, didapatkan bahwa sifat akustik (sifat redaman bunyi) yang diberikan sama dengan sifat yang dimiliki oleh *glasswool*. Hal yang sama juga telah dilakukan oleh Yang dan Dae (2004) pembuatan komposit memanfaatkan serat jerami sebagai *filler* pada limbah ban bekas untuk panel dinding bangunan didapatkan bahwa sifat mekanik (fleksibilitas) yang lebih baik dari panel kayu yang ada dan sifat akustik (sifat redaman bunyi) yang cukup baik.

Berdasarkan penelitian yang telah ada dengan melihat potensi alam yang kurang dimanfaatkan secara optimal seperti sabut kelapa, maka perlu dilakukan kajian lebih jauh mengenai pemanfaatan serat sabut kelapa sebagai bahan panel akustik disamping sebagai solusi dari permasalahan limbah sabut kelapa. Indonesia merupakan penghasil kelapa (kopra) terbesar ketiga di dunia, dengan total produksi mencapai 14 milyar butir pertahun. Komponen utama buah kelapa berupa sabut kelapa (35%) belum dimanfaatkan optimal dan kurang mempunyai nilai ekonomi. Beberapa penelitian telah dilakukan diantaranya sebagai bahan baku pembuatan panel bangunan ramah lingkungan (Fajriyanto dan Feris, 2008). Serat sabut kelapa dikatakan memiliki kadar lignin yang cukup sedikit sekitar 25,49 % (Sunariyo, 2008), kadar lignin yang sedikit akan menentukan sifat komposit menjadi lebih baik. Hal ini memungkinkan membuat komposit serat sabut kelapa dengan polimer termoplastik.

Komposit merupakan perpaduan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi suatu material baru yang memiliki *properties* lebih baik dari keduanya. Komposit dibentuk dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi satu material, untuk meningkatkan sifat mekanik dari setiap material yang dimilikinya. Atas dasar ini memungkinkan untuk meninjau kualitas suatu polimer komposit dari serat serabut kelapa yang memiliki warna dasar sama dengan warna kayu sehingga nilai estetikanya tetap ada dan memiliki sifat ulet yang baik dari beberapa serat alam lainnya dengan matrik perekat polimer termoplastik (*thermoplastic*) Polivinil Asetat (PVAc) yang dapat dimanfaatkan sebagai panel akustik atau peredam suara.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sifat fisis komposit dari serat sabut kelapa dengan matrik perekat polivinil asetat.

Polimer komposit merupakan pencampuran dua atau lebih makro konstituen yang berbeda dalam bentuk, dalam penelitian ini komposit dibuat dari serat sabut kelapa dengan matrik perekat polivinil asetat. Sifat redaman bunyi merupakan kemampuan suatu bahan untuk meredam bunyi yang datang dihitung dalam persen atau pecahan bernilai $0 \leq \alpha \leq 1$. Sifat mekanik merupakan karakteristik yang dimiliki benda seperti kuat tarik, kuat patah/*modulus of ruptur* (MOR) dan kuat lentur/*modulus of elasticity* (MOE) dari spesimen tersebut.

METODE PENELITIAN

Rancangan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Fajriyanto dan Feris (2008) dan Sunariyo (2008) yang dimodifikasi oleh peneliti.

Kegiatan awal yang dilakukan yaitu melakukan pemisahan serat sabut kelapa dari batok kelapa dengan menggunakan sisir dari kawat besi-baja, selanjutnya serabut yang telah dibersihkan dipotong-potong untuk mendapatkan serat yang pendek. Selanjutnya dilakukan pembuatan polimer komposit dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel. I Persentase bahan komposit

No.	PVAc (%)	SSK (%)
1	50	50
2	60	40
3	70	30

PVAc sesuai dengan perbandingan tersebut dicampur pada baskom dan air 200 mL. Sampel diblender agar campuran PVAc dan serat sabut kelapa menjadi rata. Sampel dicetak dengan cetakan yang telah ada. Sampel dikeringkan pada suhu $30^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$.

Pengumpulan data mengenai karakteristik/kualitas sampel polimer komposit dilakukan dengan uji akustik (redaman bunyi) dan uji mekanik. Pengukuran daya serap/absorpsi bunyi dari papan serabut kelapa perlu dilakukan agar dapat diketahui sejauh mana pemakaian dari material tersebut dapat diterapkan tentunya. Dengan mengetahui besarnya intensitas bunyi yang diserap (I_a) dan intensitas sumber bunyi yang datang (I_i), maka koefisien absorpsi/serapan dapat dihitung dengan persamaan

$$\alpha = \frac{I_a}{I_i}$$

$$\alpha = 10^{\frac{\beta_a - \beta_i}{10}}$$

Uji tarik pada specimen dilakukan dengan menggunakan *materials testing machine* pengukuran dilakukana berdasarkan ASTM (*American Society for Testing materials*). Dari pengukuran uji tarik didapatkan nilai beban maksimal agar specimen putus, regangan dan tegangan serta modulus elastisitas dari suatu bahan.

Pengukuran kuat lentur dari specimen menggunakan alat *unconfined compression machine*. Dari uji kuat lentur didapatkan kuat patah dan elastisitas dari spesimen dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Modulus of Rupture (MOR)} = \frac{3PL}{2lh^2}$$

$$\text{Modulus of elasticity (MOE)} = \frac{P'L^3}{4ylh^3}$$

Keterangan:

MOR : *modulus of rupture*/kuat patah (kg/cm^2)
MOE : *modulus of elasticity*/elastisitas (kg/cm^2)
P : beban patah (kgf)
P' : beban pada yield/beban lentur (kgf)
L : jarak sanggah (cm)
h : tebal specimen (cm)
l : lebar specimen (cm)
y : jarak defleksi/kelengkungan pada batas proporsional (cm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran serapan bunyi komposit serabut kelapa dilakukan dengan menggunakan signal generator dan sound level meter, pengukuran dilakukan mengacu pada metode tabung impedansi melalui

pendekatan *box acoustic*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik komposit serat kelapa yang dibuat, apakah bisa bekerja sebagai papan akustik seperti gambar 1 berikut ini.



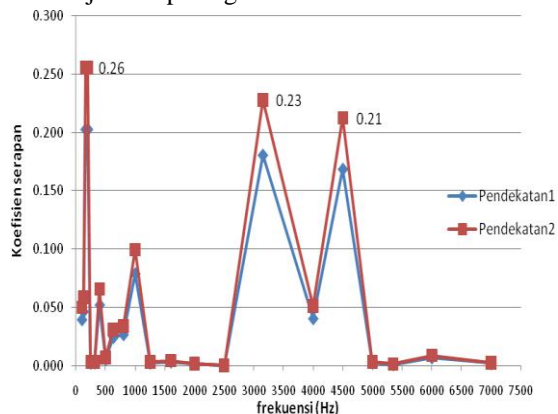
Gambar.1 Komposit serat sabut kelapa untuk pengukuran koefisien serapan bunyi

Pada penelitian ini pengukuran koefisien serapan bunyi dilakukan pada frekuensi rendah, menengah, dan tinggi (100-7000 Hz). Pengukuran serapan komposit dilakukan pada beberapa variasi yaitu:

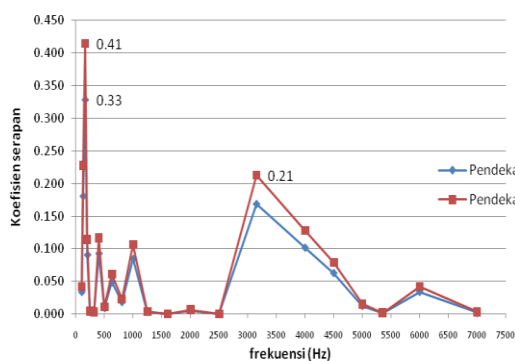
Tabel. II variasi sampel dengan tebal rata-rata

Variasi Sampel	Sampel	Tebal (cm)
70:30	A1	1,26
	A2	2,00
60:40	B1	1,26
	B2	2,00
50:50	C1	1,26
	C2	2,00

Perbandingan nilai koefisien serapan dari sampel yang ada ditunjukkan pada gambar 2 dan 3 berikut



Gambar. 2 Hubungan koefisien serapan bunyi terhadap frekuensi untuk sampel A1

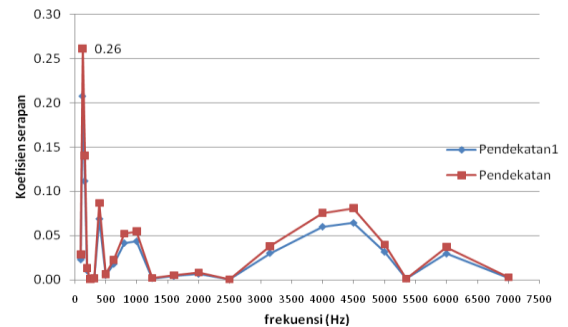


Gambar. 3 Hubungan koefisien serapan bunyi terhadap frekuensi untuk sampel A2

Dari gambar 2 dan 3 tersebut terlihat bahwa komposit yang dibuat bekerja secara optimal sebagai panel akustik pada frekuensi rendah. Nilai koefisien serapan

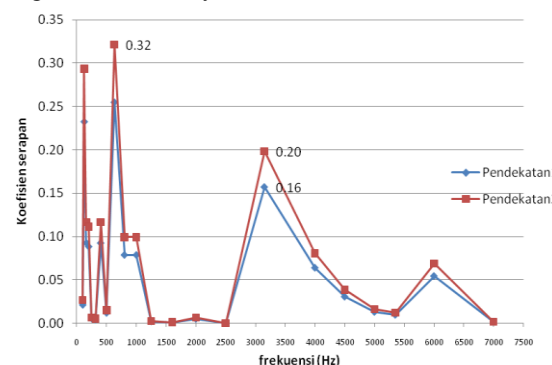
bunyi tertinggi diberikan oleh sampel A2 dengan ketebalan 2 cm sebesar 0,33-0,41 artinya secara umum sampel A2 tersebut telah memenuhi standar ISO 11654 karena nilai serapan yang dimiliki lebih dari 0,15 (Khuriati dan Eko, 2006). Sehingga sampel A1 dan A2 bekerja secara maksimal sebagai peredam suara pada frekuensi rendah, tetapi jika melihat nilai koefisien serapan sampel A1 dapat digunakan pada frekuensi tinggi (3000-4500 Hz).

Koefisien serapan bunyi yang diberikan sampel B1 tidak jauh berbeda dengan sampel A1 seperti ditunjukkan pada gambar 4 dengan nilai koefisien serapan terbaiknya adalah 0,26 pada frekuensi rendah (125 Hz)



Gambar. 4 Hubungan koefisien serapan bunyi terhadap frekuensi untuk sampel B1

Secara umum dari gambar 4 tersebut terlihat jelas bahwa sampel B1 tersebut dapat berfungsi sebagai peredam suara pada frekuensi rendah saja. Sedangkan pada frekuensi tinggi dari rentang 2500-5500 Hz nilai koefisien serapan yang diberikan berada di bawah standar yang ditetapkan ISO 11654 sebesar 0,15. Artinya perubahan ketebalan dari sampel mempengaruhi besar penyerapannya, Hal ini sesuai dengan pernyataan Khuriati dan Eko (2006) yang mengatakan bahwa efisiensi akustik bahan peredam berpori membaik pada jangkauan frekuensi rendah dengan bertambahnya ketebalan.

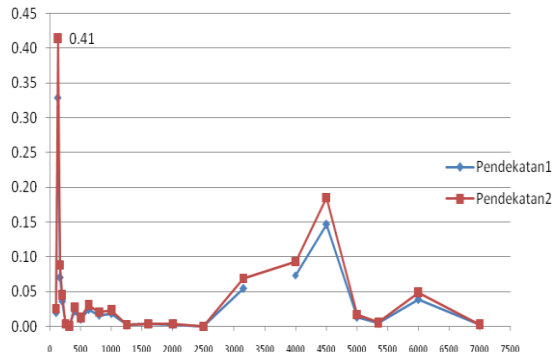


Gambar. 5 Hubungan koefisien serapan bunyi terhadap frekuensi untuk sampel B2

Dari gambar 5 tersebut terlihat bahwa koefisien serapan bunyi yang diberikan oleh sampel B2 berada pada nilai terbaiknya 0,32 pada frekuensi rendah (630 Hz) artinya sampel B2 baik digunakan sebagai panel akustik untuk frekuensi rendah. Tetapi dapat juga digunakan pada frekuensi tinggi (3150 Hz) yaitu sebesar 0,16-0,20 jika dibandingkan dengan standar ISO 11654 tentang nilai

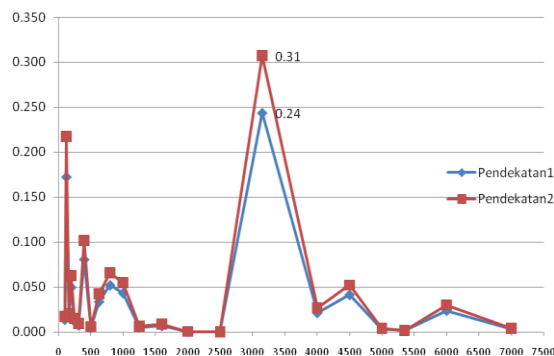
koefisien serapan akustik sebesar 0,15 sehingga digolongkan kedalam bahan peredam suara.

Koefisien serapan terbaik pada frekuensi rendah juga dimiliki oleh sampel C1 dengan nilai 0,33-0,41 yang merupakan nilai terbesar dari keseluruhan sampel yang ada disamping sampel A1. Nilai koefisien lainnya ditunjukkan pada gambar 6, terlihat secara keseluruhan pada sampel C1 bekerja secara maksimal sebagai peredam bunyi pada frekuensi rendah.



Gambar. 6 Hubungan koefisien serapan bunyi terhadap frekuensi untuk sampel C1

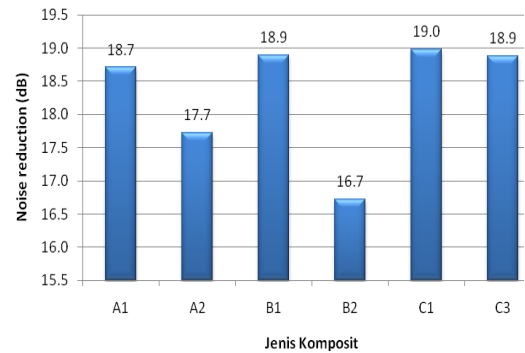
Adanya penambahan komposisi *filler* serat sabut kelapa mempengaruhi koefisien serapan bunyi dari komposit yang ada. Hal ini diperlihatkan pada sampel dengan variasi 50% matrik perekat PVAc dan 50% serat sabut kelapa, dimana nilai koefisien terbaiknya diberikan pada frekuensi tinggi seperti ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar. 7 Hubungan koefisien serapan bunyi terhadap frekuensi untuk sampel C2

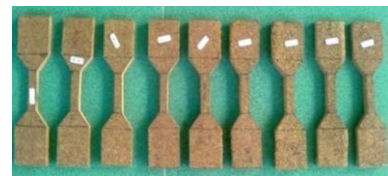
Pada sampel C1 dan C2 dengan komposisi yang sama yaitu 50% matrik perekat PVAc dan 50 % serat sabut kelapa, memberikan karakteristik yang cukup berbeda terhadap koefisien serapan bunyi. Dimana sampel C1 (tebal 1,26 cm) memberikan nilai terbaik pada frekuensi rendah yaitu sebesar 0,41 sedangkan sampel C2 (tebal 2 cm, kerapatan 0,4 g/cm³) bekerja secara maksimal sebagai peredam bunyi pada frekuensi tinggi 3150Hz sebesar 0,31. Hal ini sejalan dengan nilai dari pengurangan kebisingan (*Noise reduction* : NR) dari sampel, dimana sampel C1 dan C2 secara keseluruhan memberikan nilai NR lebih tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya seperti ditunjukkan pada gambar 8. Hal ini dimungkinkan karena perbandingan serat sabut kelapa dengan matrik perekat yang berimbang sehingga prasyarat panel akustik yang berpori dapat mungkin terjadi lebih baik dari sampel lainnya karena memiliki

perbandingan matrik perekat yang lebih besar dari serat sabut kelapa sebagai *filler*.



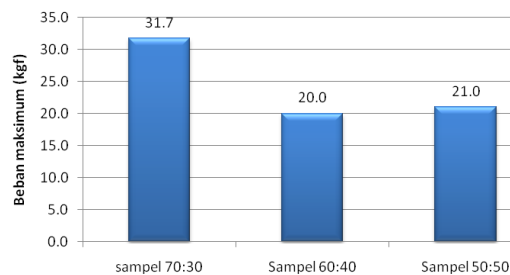
Gambar. 8 Hubungan perbandingan komposit dengan nilai *Noise reduction*

Pengukuran kuat tarik sampel mengacu pada ASTM (*American Society for Testing aterials*) menggunakan alat uji tarik *materials testing machine* dari Hung TA Instrument.Co.ltd. Pengukuran kuat tarik komposit dilakukan dengan tiga kali pengulangan, sampel untuk uji tarik dibentuk seperti gambar 9 berikut.



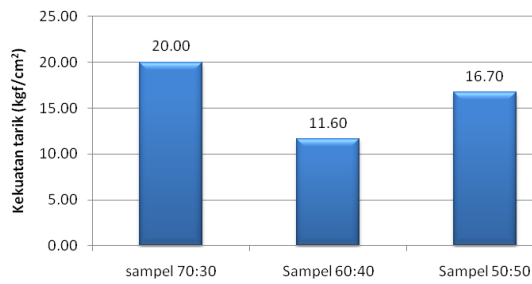
Gambar. 9 Sampel komposit untuk uji tarik

Berdasarkan hasil uji tarik untuk beban maksimum yang menyebabkan benda patah saat tertarik cukup bervariasi dimana nilai tertinggi ada pada sampel 70% matrik perekat PVAc 30% serat sabut kelapa dengan rata-rata beban maksimum 31,7 kgf seperti terlihat pada gambar 10.



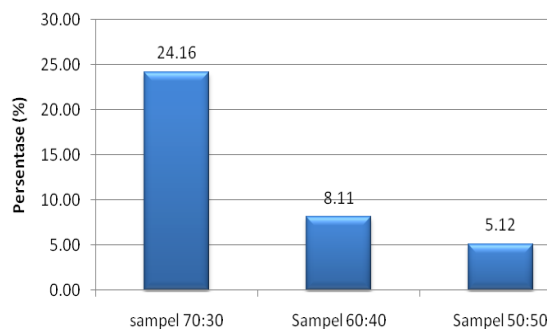
Gambar. 10 Beban maksimum rata-rata dari variasi sampel komposit

Dari grafik 10 terlihat bahwa beban maksimum yang dapat diberikan pada komposit SSK+PVAc meningkat dengan bertambahnya variasi matrik perekat. Hal ini juga terlihat tidak jauh berbeda terhadap kekuatan tarik komposit seperti ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar. 11 Kekuatan tarik rata-rata dari variasi sampel komposit

Dari gambar 11 terlihat bahwa kekuatan tarik yang diberikan oleh sampel dengan perbandingan 70% matrik perekat PVAc dan 30% serat sabut kelapa (SSK) memberikan nilai terbaik dari pada variasi sampel 60% PVAc : 40% SSK, hal ini berbeda dengan variasi komposisi matrik perekat PVAc dengan SSK yang berimbang (50:50) yang kekuatan tariknya sama dengan variasi 70:30. Hal ini dimungkinkan karena komposisi yang seimbang antara matrik perekat PVAc terhadap SSK sehingga adanya ikatan silang lebih baik bila dibandingkan dengan variasi komposisi komposit 60% PVAc dengan 40% SSK. Sedangkan untuk perpanjangan specimen (elongasi) sebanding dengan variasi matrik perekat yang diberikan seperti ditunjukkan pada gambar 12.



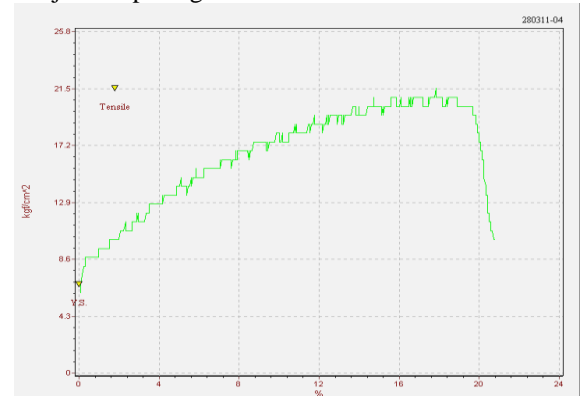
Gambar. 12 perpanjangan rata-rata dari variasi sampel komposit

Dari gambar 12 terlihat komposit yang terdiri dari 70% matrik perekat PVAc memberikan perpanjangan 24,16% kemudian menurun seiring dengan bertambahnya filler serat sabut kelapa. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa komposit dari serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc bersifat cukup dan ulet seiring dengan bertambahnya variasi komposisi matrik perekat, hal ini ditunjukkan juga dengan model patahan yang terjadi setelah pengujian tarik seperti pada gambar 13 terlihat memberikan patahan dengan karakteristik berserabut (*fibrous*) dan gelap (*dull*).

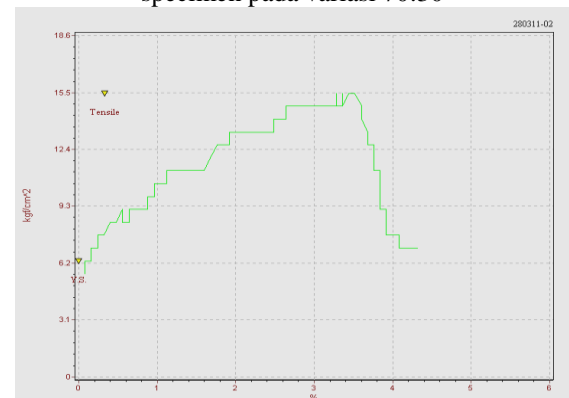


Gambar. 13 Patahan yang terjadi pada masing-masing variasi sampel komposit

Sifat ulet yang diberikan oleh komposit serat sabut kelapa dengan matrik perkat PVAc ini ditunjukkan juga pada grafik hubungan antara tegangan dan regangan yang diberikan oleh sampel seperti ditunjukkan pada gambar 14 dan 15 berikut ini:



Gambar. 14 Hubungan tegangan dan regangan specimen pada variasi 70:30



Gambar. 15 Hubungan tegangan dan regangan specimen pada variasi 50:50

Dari grafik 14 dan 15 tersebut terlihat bahwa gambar yang diberikan menunjukkan sifat komposit yang keras dan ulet.

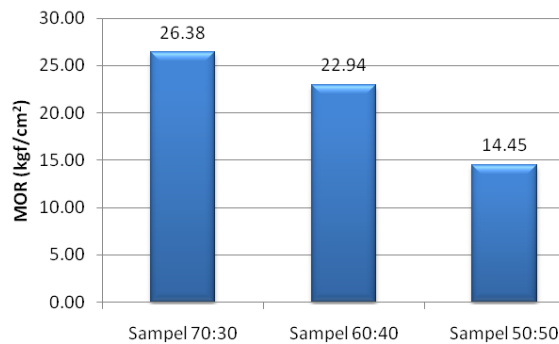
Pengukuran kuat lentur sampel menggunakan *unconfined compression machine*. Sampel ditempatkan pada dua titik dari masing-masing kedua bagian ujung sampel sebagai penyanggah pada alat uji kemudian diberikan tekanan tepat di tengah-tengah sampel. Sampel yang digunakan (gambar 16) pada kuat uji lentur untuk masing-masing variasi sampel dilakukan 3 kali pengukuran.



Gambar.16 sampel untuk uji lentur komposit

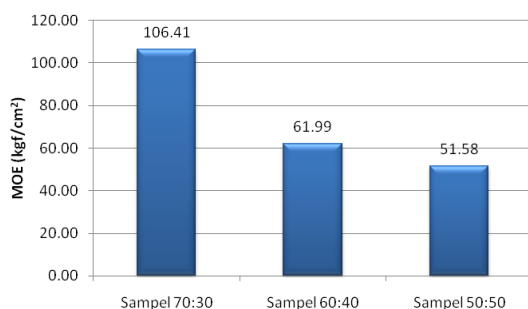
Dari pengukuran kuat lentur komposit didapatkan nilai kuat patah (*modulus of Rupture*) dan modulus elastis (*modulus of Elasticity*). Kuat patah dari

komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc diberikan pada gambar 17.



Gambar. 17 *Modulus of Rupture*/kuat patah rata-rata dari variasi komposit.

Dari gambar 17 tersebut terlihat bahwa kuat patah dari komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc bertambah besar dengan bertambahnya komposisi matrik perekat dan berkurang dengan bertambahnya komposisi *filler* serat sabut kelapa. Hal yang sama juga ditunjukkan pada modulus elastisitas/*modulus of elasticity* (grafik 18) nilai terbaik diberikan pada variasi sampel 70% matrik perekat PVAc dengan 30% *filler* serat sabut kelapa sebesar 106,41 kgf/cm² dan berkurang dengan bertambahnya komposisi *filler* serat sabut kelapa.



Gambar. 18 *Modulus of Elasticity*/modulus elastisitas rata-rata dari variasi komposit

Berdasarkan gambar 17 dan 18 terlihat bahwa besar *Modulus of Rupture* (MOR) dan *Modulus of Elasticity* (MOE) komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc tergolong ke dalam kelas kayu berdasarkan kekuatan kayu menurut SNI 033527-1994 masih berada pada kelas V. Hal ini memungkinkan untuk dilakukan pengembangan kembali terhadap komposit serat sabut kelapa.

KESIMPULAN

1. Sampel komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat sabut kelapa dapat digunakan sebagai peredam suara berdasarkan standar ISO 11654 dengan koefisien serapan yang lebih dari 0,15 diberikan oleh sampel A2 dan C1 masing-masing sebesar 0,33-0,41 pada frekuensi rendah.
2. Bertambahnya ketebalan sampel mempengaruhi besar koefisien serapan bunyi pada frekuensi rendah.

3. Kekuatan tarik dan kuat lentur terbaik pada komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc pada variasi sampel 70:30
4. Berdasarkan kekuatan kayu menurut SNI 033527-1994 komposit serat sabut kelapa dengan matrik perekat PVAc masih berada pada kelas V

DAFTAR PUSTAKA

- Fajriyanto dan Feris Firdaus. 2008. Panel Dinding Bangunan Ramah Lingkungan dari Komposit Limbah Pabrik Kertas (Sludge), Sabut Kelapa dan Sampah Plastik: Pengaruh Komposisi Bahan dan Beban Pengempaan Terhadap Kuat Lentur (Bending). Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Mesin
- Firdaus, Feris dan Fajriyanto. 2006. Karakteristik Mekanik Produk Fiberboard dari Komposit Sampah Plastik (Thermoplastic)-Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks). TEKNOIN, Vol. 11, No.3, 184-197
- Himawanto, Dwi Aries. 2007. Karakteristik Panel Akustik Sampah Kota pada Frekuensi Rendah dan Frekuensi Tinggi akibat Variasi Kadar Bahan Anorganik. JURNAL TEKNIK GELAGAR, Vol. 18, No. 01, 19 - 24
- Khuriati, Ainie. Eko Komaruddin, dan Muhammad Nur. 2006. Disain Peredam Suara Berbahan Dasar Sabut Kelapa dan Pengukuran Koefisien Penyerapan Bunyinya. Berkala Fisika, Vol.9, No.1, Januari, hal 15-25
- Koizumi, T. N. Tsujiuchi, A. Adachi. 2002. using Natural Bamboo Fibers the development of Sound Absorbing Materials. Paper from: High Performance Structures and Composites, CA Brebbia and WP de Wilde (Editors). ISBN 1-85312-904-6
- Lee, Youneung dan Changwhan Joo. Sound Absorption Properties of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers. AUTEX Research Journal, Vol. 3, No2, 78-84.
- Satwiko, Prasasto. 2005. Fisika Bangunan 1. Yogyakarta: Andi
- Sunariyo. 2008. Tesis: Karakteristik Komposit Termoplastik Polipropilena dengan Serat Sabut Kelapa sebagai pengganti Palet Kayu. Sumatera Utara: USU digital library
- Yang, Han-Seung, Dae-Jun Kim, Young-Kyu Lee, Hyun-Joong Kim, Jin-Yong Jeon, dan Chun-Won Kang. 2004. Possibility of using Waste Tire Composites Reinforced with Rice Straw as Construction Materials. Bioresource Technology 95, 61-65

KARAKTERISTIK PAPAN KOMPOSIT ECENG GONDOK DENGAN MATRIK POLY VINYL ACETATE

Aris Doyan¹, Susilawati², Muhammad Multazam³

Program Studi Magister Pendidikan IPA Program Pasca Sarjana

Universitas Mataram^{1,2}

SMAN 2 Praya Lombok Tengah³

Email : arisdoyan@yahoo.co.id, susilawatihambali@yahoo.co.id, muhmultazam95@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi komposit saat ini tidak hanya komposit sintesis saja tetapi juga mengarah ke komposit alam (natural) karena keistimewaan sifatnya yang dapat di daur ulang (renewable), lebih ramah lingkungan dan harganya murah, karena itu dalam penelitian ini dibuat papan komposit serat eceng gondok dengan matrik poly vinyl acetate (PVAc). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik papan komposit eceng gondok dengan matrik poly vinyl acetate. Diharapkan dari penelitian ini dapat dibuat papan komposit eceng gondok dengan matrik PVAc yang mempunyai karakteristik sesuai standar SNI atau ISO. Karakteristik yang dimaksud adalah sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekuatan lentur) dan sifat akustik yang ditunjukkan oleh koefisien serapan bunyi. Pembuatan sampel dilakukan dengan memvariasikan serat eceng gondok dan matrik PVAc (50:50, 40:60, dan 30:70)%. Hasil uji tarik didapatkan: beban maksimum dan kekuatan tarik maksimum paling besar pada sampel dengan variasi (30:70)% kemudian (50:50)% dan paling kecil (40:60)% berbeda dengan perpanjangan (elongasi) yang sebanding dengan kenaikan matrik dilihat dari bentuk patahan, termasuk keras dan liat. Hasil uji lentur: diperoleh nilai Modulus of Rupture (MOR) dan modulus of elasticity (MOE) komposit terbaik pada variasi (40:60)% dengan nilai masing-masing 42,67 kgf/cm² dan 4339,23 kgf/cm² dan massa jenis 0,819 kg/cm³, sesuai standar SNI 01-4449,2006 termasuk papan komposit serat sedang dengan tipe 30. Hasil uji akustik: papan komposit eceng gondok dapat menyerap bunyi dengan baik pada frekuensi rendah, sedang maupun tinggi sesuai standar ISO 11654:1997E, dimana koefisien serapan bunyi (α) bahan akustik minimal sebesar 0,15. Koefisien serapan bunyi PKEG berkisar antara 0,15 sampai dengan 0,79. Berdasarkan hasil penelitian ini papan komposit eceng gondok dengan matrik PVAc dapat dijadikan salah satu alternatif bahan baku meubeler dan panel akustik.

Kata kunci: komposit, eceng gondok, PVAc, kuat tarik, kuat lentur, dan koefisien serapan bunyi.

PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi disamping membawa dampak positif juga dampak negatif (ambivalen). Pesatnya pertumbuhan alat-alat transportasi memperpendek waktu tempuh antara satu tempat ke tempat lainnya, menjamurnya produk alat-alat elektronik dan komunikasi mempermudah dan mempercepat arus informasi, demikian juga dengan kemajuan teknik bangunan telah melahirkan bangunan dengan berbagai bentuk dan variasi. Namun bersamaan dengan itu timbul masalah-masalah baru seperti kemacetan lalu lintas. Bunyi kendaraan, pesawat dan alat-alat elektronik menimbulkan kebisingan pada lingkungan terutama dalam ruangan. Maraknya pembangunan rumah-rumah pribadi, perhotelan, pertokoan, perkantoran dan sebagainya, termasuk juga interiornya membutuhkan bahan baku kayu yang dari waktu ke waktu ketersediannya terus menurun. Karena itu perlu ada upaya untuk mengatasi dampak negatif tersebut.

Upaya mengurangi tingkat kebisingan pada ruang gedung dapat dilakukan dengan memasang peredam suara atau material penyerap kebisingan. Tetapi material penyerap kebisingan yang ada dipasaran saat ini kebanyakan masih relatif mahal dan kurang ramah lingkungan (Himawanto, 2007). Selain itu peredam suara juga dibutuhkan untuk menciptakan bangunan atau gedung dengan karakteristik akustik tertentu sehingga tercipta kenyamanan bagi penggunanya (Khuriati, 2006).

Dalam pemakaian bahan penyerap bunyi harus didasari pemahaman akan fungsi akustik ruang: (1) mengubah gelombang bunyi menjadi kalor, ditunjukkan dengan adanya pori-pori, (2) mengubah gelombang bunyi menjadi mekanis (resonansi), ditunjukkan dengan bahan yang lembek dan mudah bergetar (Satwiko, 2005). Jenis bahan peredam suara yang sudah ada yaitu bahan panel, resonator dan berpori (Lee dan Changwhan, 2003). Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berporilah yang sering digunakan. Khususnya untuk mengurangi kebisingan pada ruang-ruang yang sempit seperti perumahan dan perkantoran. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis peredam lain (Lee dan Changwhan, 2003). Material yang telah lama digunakan pada peredam suara jenis ini adalah *glasswool* dan *rockwool*. Namun karena harganya relatif mahal, berbagai bahan pengganti material tersebut mulai dibuat. Diantaranya adalah gabus maupun bahan berkomposisi serat (komposit). Komposit yang karakteristiknya seperti kayu juga dapat dimanfaatkan untuk mengatasi kekurangan bahan baku kayu, khususnya untuk membeler.

Komposit adalah suatu material yang dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Teknologi komposit dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, sejalan dengan penggunaannya yang semakin luas, mulai dari yang sederhana seperti alat-alat rumah tangga sampai sektor industri.

Perkembangan komposit tidak hanya komposit serat sintetis saja tetapi juga mengarah ke komposit serat alam (natural) karena keistimewaan sifatnya yang dapat di daur ulang (renewable). Selain itu komposit serat alam juga memiliki keunggulan lain bila dibandingkan dengan serat gelas, lebih ramah lingkungan karena mampu terdegradasi secara alami dan harganya murah, sedangkan serat gelas sukar terdegradasi secara alami, serat gelas juga menghasilkan gas CO dan debu yang berbahaya bagi kesehatan jika didaur ulang (Christiani, 2008). Syafiisab, 2010 menambahkan sifat serat alam, yaitu: jumlahnya berlimpah, ringan, tidak kasar untuk pembuatan peralatan, dapat dibakar dengan menghasilkan energi, tidak menyebabkan iritasi kulit, sifat mekanis yang baik, sifat akustik dan isolasi panas yang baik, serta massa jenis serat alam (tanaman) adalah 40% dibawah massa jenis serat gelas.

Dalam rangka memanfaatkan serat alam (natural fibers) sebagai material komposit, perlu mempelajari serat eceng gondok sebagai pengganti serat sintetis pada pembuatan material komposit. Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) adalah salah satu jenis tumbuhan air mengapung yang memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga tumbuhan ini dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan. Eceng gondok dengan mudah menyebar melalui saluran air ke badan air lainnya. Eceng gondok dapat berkembang biak, baik secara vegetatif maupun generatif. Perkembangbiakan dengan cara vegetatif dapat melipat ganda dua kali dalam waktu 7-10 hari. Hasil penelitian Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Sumatera Utara di Danau Toba tahun 2003 melaporkan bahwa satu batang eceng gondok dalam waktu 52 hari mampu berkembang seluas 1 m², atau dalam waktu 1 tahun mampu menutup area seluas 7 m², dinyatakan juga bahwa dalam waktu 6 bulan pertumbuhan eceng gondok pada areal 1 ha dapat mencapai bobot basah sebesar 125 ton. (Pasaribu, 2007).

Eceng gondok di NTB ditemukan hampir di setiap bendungan yang ada di daerah ini, seperti di bendungan Pengga, Batujai, Mamak, Pelara, dan Batu Bulan. Berdasarkan data terakhir tahun 2010 yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Lombok Tengah, kedalaman bendungan Batujai yang semula 16 m, kini telah mendangkal lebih dari 50% yaitu menjadi 6 m, dan 35% dari genangan air sudah ditutupi oleh populasi eceng gondok.

Perkembangbiakannya yang demikian cepat menyebabkan tanaman eceng gondok telah berubah menjadi tanaman gulma di beberapa wilayah perairan di Indonesia. Di kawasan perairan danau, eceng gondok tumbuh pada bibir-bibir pantai sampai sejauh 5-20 m. Perkembangbiakan ini juga dipicu oleh peningkatan kesuburan di wilayah perairan danau (eutrofikasi), sebagai akibat dari erosi dan sedimentasi lahan, berbagai aktivitas masyarakat (mandi, cuci, kakus/MCK), budidaya perikanan (keramba jaring apung), limbah transportasi air, dan limbah pertanian (Pasaribu, 2007).

Walaupun eceng gondok dianggap sebagai gulma namun disisi lain dengan zat yang

dikandungnya, eceng gondok dapat dimanfaatkan untuk beberapa keperluan. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa eceng gondok mengandung selulosa yang mencapai 64,51% dari total berat kering (Kriswiyanti, 2009). Dengan kandungan selulosanya yang cukup besar itu memungkinkan eceng gondok digunakan sebagai bahan baku yang potensial untuk pembuatan komposit.

Penelitian tentang komposit yang diperkuat serat eceng gondok masih dikembangkan, penelitian terkait yang pernah dilakukan adalah penelitian Fajriani, 2010, membuat komposit dengan matrik resin polyester, mendapatkan harga kuat tarik 19 N/mm², kuat tekan 18,44 N/mm², kadar air 5,96%, daya absorpsi air 5,71%, dan pengembangan tebal 4,17%.

Matrik atau perekat dalam komposit berfungsi mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur, melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan, mendistribusikan beban ke *filler* dan memberikan sifat seperti: kekakuan, ketahanan dan tahanan listrik (Gibson, 1994). Berdasarkan bahan penyusunnya, perekat dibedakan menjadi dua macam yaitu perekat organik dan anorganik. Poly vinyl acetate (PVAc) merupakan perekat anorganik yang diperoleh dari polimerisasi *vinyl acetate* dengan cara polimerisasi massa, polimerisasi larutan, maupun polimerisasi emulsi. Poly vinyl acetate (PVAc) adalah suatu polimer karet sintetis yang merupakan senyawa polimer termoplastik, memiliki sifat tahan panas, daya regang tinggi, serta larut dalam pelarut organik (Pratama, 2008). Penelitian lain menjelaskan bahwa PVAc merupakan polimer yang mempunyai sifat kerekatan yang sangat kuat sehingga sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan lem kain, kertas dan kayu, memiliki sifat tidak berbau, tidak mudah terbakar, dan lebih cepat solid. Di samping itu, PVAc juga banyak digunakan sebagai matrik pada pembuatan material komposit sehingga meningkatkan kekuatan material tersebut (Masturi, 2010). Ada lagi penelitian yang menjelaskan kelebihan PVAc yaitu mudah penanganannya, *storage life*-nya tidak terbatas, tahan terhadap mikroorganisme, tidak mengakibatkan bercak noda, serta tekanan kempunya rendah (Fajriani, 2010).

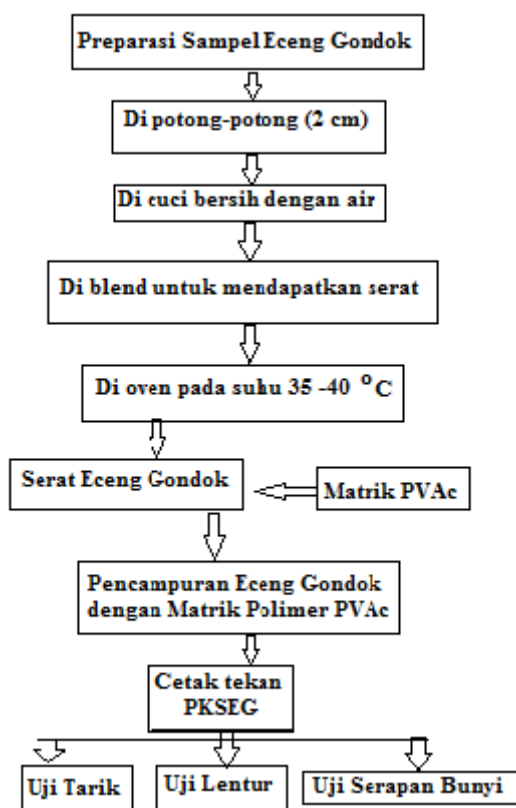
Dari pemikiran-pemikiran di atas maka dalam penelitian ini dibuat papan komposit dengan penguat serat eceng gondok dan matrik Poly Vinyl Acetate yang diharapkan mempunyai karakteristik yang baik sebagai penyerap bunyi dan bahan mebel. Diharapkan juga dari penelitian ini, apa yang dihasilkan dapat menjadi sumber belajar bagi siswa terutama pada konsep elastisitas, kesetimbangan, dan intensitas bunyi karena dari pengalaman peneliti, banyak konsep-konsep fisika, diantaranya konsep tersebut tidak dapat dipraktikan di sekolah karena keterbatasan alat.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan papan komposit eceng gondok dengan matrik Poly vinyl Acetate (PVAc) yang mempunyai karakteristik (daya lentur dan menyerap bunyi) baik sesuai standar SNI atau ISO.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi dalam empat tahap. Tahap pertama adalah pengambilan serat eceng gondok, tahap kedua pembuatan spesimen papan komposit eceng gondok dengan matrik Poly vinyl acetate (PVAc), tahap ketiga pengujian spesimen yang terdiri dari uji tarik, uji lentur dan uji serapan bunyi dari papan komposit eceng gondok dan tahap terakhir adalah karakterisasi papan komposit. Secara lengkap tahap demi tahap yang dilalui dalam penelitian ini ditunjukkan melalui diagram alir pada Gambar 1.

Penelitian ini dilaksanakan di tiga laboratorium yang ada di UNRAM, yaitu laboratorium struktur bahan Fakultas Teknik untuk uji tarik, laboratorium Geoteknik dan Geodesi Fakultas Teknik untuk uji lentur (bending) dan Laboratorium Fisika Dasar Fakultas MIPA untuk uji serapan bunyi.



Gambar 1. Diagram alir tahap penelitian PKEG

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi terhadap papan komposit eceng gondok (PKEG) dengan matrik poly vinyl Acetate (PVAc) yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah sifat mekanik (kekuatan tarik dan lentur) dan serapan bunyi. Foto sampel papan komposit eceng gondok dengan matrik PVAc pada penelitian ini adalah seperti Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Foto papan komposit eceng gondok dengan matrik PVAc

Terlihat dari foto, warna papan komposit eceng gondok dengan matrik PVAc berwarna coklat seperti warna serat eceng gondok sebelum dicampur PVAc, warna matrik tidak mempengaruhi, ini sesuai dengan fungsi matrik dalam komposit adalah untuk mengikat serat atau penguat dan tidak bereaksi secara kimia dengan serat. Kemudian permukaan papan komposit eceng gondok yang terlihat tidak terlalu kasar menunjukkan keberadaan serat eceng gondok yang cukup halus.

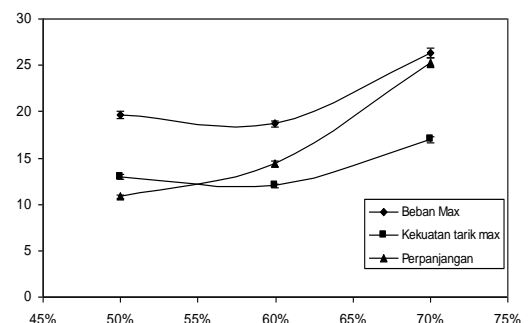
Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan serat eceng gondok dan matrik PVAc dengan variasi perbandingan serat eceng gondok dan matrik PVAc masing-masing (50:50, 40:60, dan 30:70)% dan pengulangan untuk setiap uji masing-masing variasi sampel sebanyak tiga kali.

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat uji Materials Testing Machine standar ASTM C348-02. Sesuai standar tersebut bentuk spesimen (benda uji) adalah seperti Gambar 3. berikut ini



Gambar 3. Spesimen untuk uji tarik PKEG

Hasil analisis pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

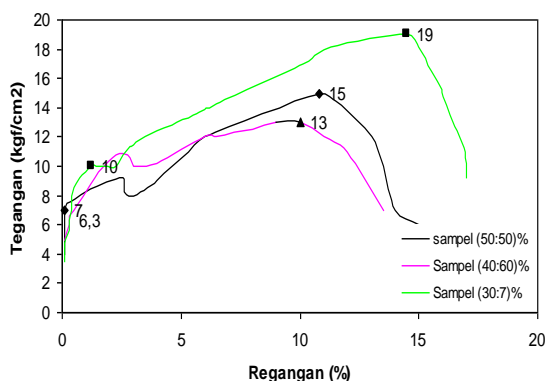


Gambar 4. Nilai rata-rata beban maksimum, kekuatan tarik maksimum, dan regangan PKEG dengan persentase matrik PVAc

Informasi yang diperoleh dari data pengujian tarik papan komposit eceng gondok dengan matrik poly vinyl acetate yang dipertegas dengan grafik di atas,

beban maksimum, kekuatan tarik maksimum dan elongasi (perpanjangan) mengalami fluktuasi seiring kenaikan matrik, pada variasi sampel (40:60)% terjadi penurunan untuk beban maksimum dan kekuatan tarik maksimumnya. Kondisi tersebut dapat dijelaskan bahwa antara penguat dan matrik mempunyai peran yang saling mendukung dalam pembuatan komposit, semakin banyak serat dan semakin sedikit matrik akan menurunkan gaya adhesi antara keduanya, sebaliknya terlalu banyak matrik dan terlalu sedikit serat akan menghasilkan sifat komposit yang didominasi sifat matrik. Disamping itu ada dua hal yang dibutuhkan pada bahan untuk memperkuat bahan komposit agar membentuk produk yang efektif yaitu komponen penguat harus memiliki modulus elastis yang lebih tinggi dari matriknya tanpa adanya bahan tersebut penambahan penguat dapat menurunkan kekuatan tekan atau tarik bahan komposit yang dihasilkan (Sudarsono, 2010). Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 4. dapat dibuat persamaan matematis hubungan antara kenaikan matrik dengan beban maksimum, kekuatan tarik maksimum, berbentuk persamaan kuadrat $y = ax^2 + bx + c$. Dengan demikian penambahan matrik tidak linear dengan beban maksimum, kekuatan tarik maksimum, dan perpanjangan, berarti ada nilai optimum antara serat eceng gondok dengan matrik PVAc untuk menghasilkan beban maksimum, kekuatan tarik maksimum, dan perpanjangan. Beban maksimum, kekuatan tarik maksimum, dan perpanjangan tertinggi pada sampel variasi (30:70)%, dengan nilai masing-masing 26,33 kgf, 17 kgf/cm², dan 25,25 %.

Hasil pengujian tarik juga memperoleh grafik hubungan antara tegangan dan regangan seperti Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 Grafik hubungan antara tegangan dengan regangan hasil pengujian tarik PKEG

Adapun bentuk patahan hasil uji tarik adalah seperti yang terlihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Bentuk patahan hasil uji tarik PKEG

Dilihat dari bentuk patahan setelah pengujian tarik, patahan yang terjadi berbentuk *pull out* (patahan akibat penarikan dimana tampak serabut serat) dan broken fiber (serat patah didalam matrik dan matrik patah). Karena pada umumnya serat komposit secara praktis elastik terpengaruh oleh tarikan. Sekalipun demikian, keheterogenan komposit memberikan berbagai macam mekanisme energi disipasi pada skala mikroskopis terhadap proses peluluhan tersebut. Termasuk juga deformasi matrik, retak mikro (*micro cracking*), kepatahan pada serat (*fiber breaking*), lepasnya ikatan interface dan terkelupasnya serat dari matrik (*debonding*). Proses kerusakan mikro yang diikuti dalam komposit umumnya lebih dikarenakan kurangnya orientasi dari pada kerusakan catastrophic

Dilihat dari bentuk grafik hubungan antara tegangan dan regangan PKEG di atas, dibandingkan dengan kriteria yang dikemukakan oleh Widodo, B. 2008 tentang komposit maka papan komposit eceng gondok dalam penelitian ini dapat dikategorikan bersifat keras dan liat (ulet)

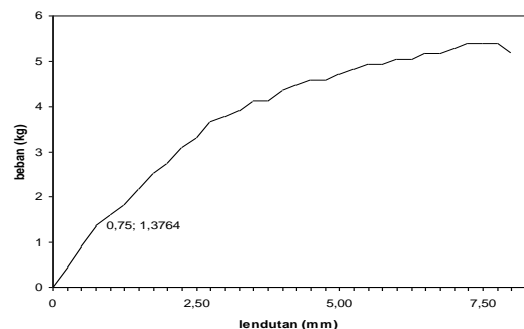
Bentuk sampel pengujian lentur sesuai standar ASTM adalah seperti Gambar 7 di bawah ini.



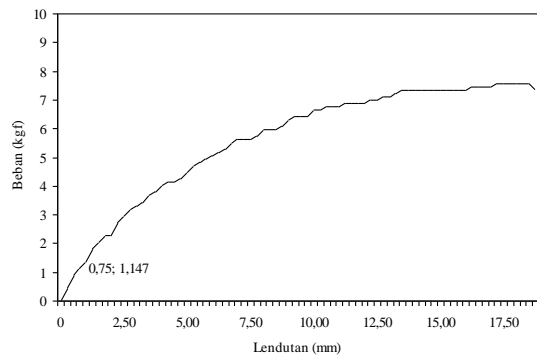
Gambar 7. Bentuk sampel pengujian lentur

Dengan mengacu pada standar SNI untuk papan komposit yang mensyaratkan nilai kerapatan, modulus of rupture (MOR) dan modulus of elasticity (MOE) maka dalam penelitian ini secara berturut-turut ditentukan nilai-nilai tersebut. Hasil perhitungan nilai kerapatan PKEG diperoleh (0,65 – 0,82)kg/m³.

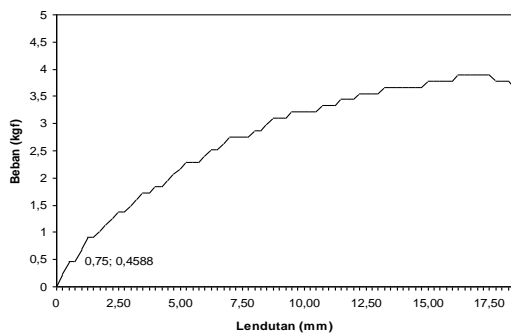
Grafik hubungan antara lendutan dengan beban hasil pengujian lentur PKEG untuk setiap variasi sampel adalah seperti Gambar 8 sampai 10 di bawah ini



Gambar 8. Grafik hubungan antara lendutan dan beban hasil pengujian lentur PKEG variasi (50:50)%

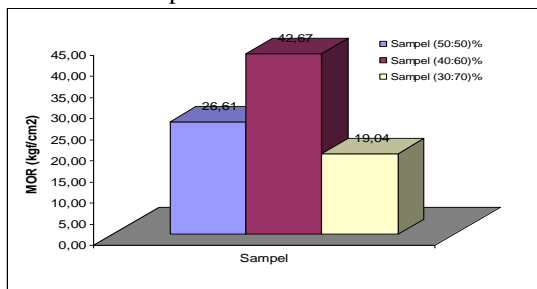


Gambar 9. Grafik hubungan antara lendutan dan beban hasil pengujian lentur PKEG variasi (40:60)%

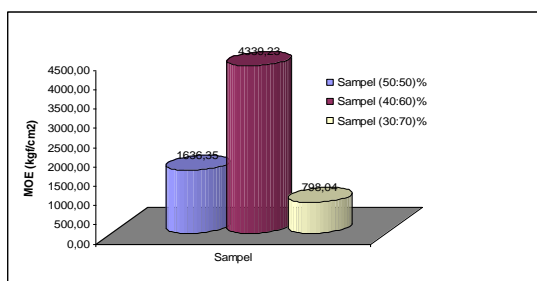


Gambar 10. Grafik hubungan antara lendutan dan beban hasil pengujian lentur PKEG variasi (30:70)%

Diagram batang nilai MOR dan MOE papan komposit eceng gondok dengan matrik Poly vinyl Acetate adalah seperti Gambar 11 dan 12 berikut ini.

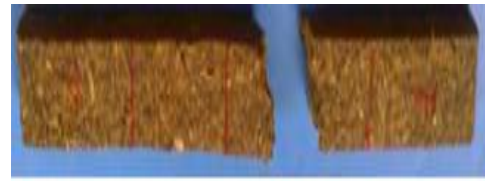


Gambar 11. Nilai rata-rata kekuatan lentur (MOR) PKEG



Gambar 12. Nilai rata-rata modulus elatis lentur (MOE) PKEG

Bentuk patahan hasil uji lentur adalah seperti Gambar 13 berikut ini



Gambar 13 Bentuk patahan hasil uji lentur

Kekuatan patah (MOR) dan kekuatan elatis lentur (MOE) papan komposit eceng gondok tidak linear dengan penambahan matrik, tertinggi pada variasi antara serat dan matrik (40:60)% dengan nilai masing-masing $(42,67 \pm 0,4201)$ kgf/cm² dan $(4339,23 \pm 0,1014)$ kgf/cm², ini menunjukkan bahwa ada ukuran tertentu antara penguat dan matrik untuk menghasilkan komposit yang baik. Kehadiran polimer pada dasarnya berfungsi sebagai pengikat partikel-partikel *filler*.

Pada awalnya peningkatan massa polimer cenderung meningkatkan kekuatan tekan atau tarik komposit yang dihasilkan hingga pada nilai tertentu yang disebut dengan nilai optimum polimer, penambahan polimer justru menurunkan kekuatan tekan/tarik kompositnya. Pada kondisi optimum ini, luas permukaan interaksi antar partikel mencapai kondisi maksimum, di mana semua partikel filler dan partikel polimer tepat saling berinteraksi secara efektif. Penambahan salah satu fasa, baik filler maupun polimer justru akan menambah daerah yang tidak berinteraksi.

Ini lah yang menyebabkan kekuatan komposit yang dihasilkan, termasuk kekuatan patah dan modulus elatis lentur menurun (Masturi dkk, 2010). Ini konsisten dengan data pada Gambar 11 dan 12, di mana peningkatan PVAc cenderung meningkatkan kekuatan patah dan modulus elatis lentur komposit yang dihasilkan hingga setelah melewati variasi tertentu, yakni variasi (40:60)% penambahan PVAc justru menurunkan kekuatan patah komposit. Variasi (40:60)% disebut sebagai variasi optimum.

Kerapatan papan komposit eceng gondok hasil penelitian ini antara 0,65 sampai 0,82 kg/m³, kekuatan patah (MOR) $(42,67 \pm 0,4201)$ kgf/cm² dan modulus elatis (MOE) $(4339,23 \pm 0,1014)$ kgf/cm² jika dibandingkan dengan standar SNI 01-4449, 2006 tentang syarat papan serat maka papan komposit eceng gondok ini termasuk komposit kerapatan sedang tipe 30.

Melihat dari nilai MOR dan MOE, PKEG yang diperoleh dari penelitian ini ada kemungkinan PKEG dijadikan bahan mebel yang akhir-akhir ini banyak memanfaatkan sisa gergajian kayu yang produksinya mulai menurun karena bahan baku kayu juga menurun.

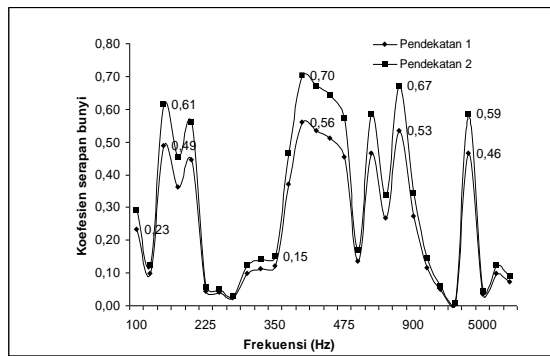
Sampel pengujian serapan bunyi PKEG seperti Gambar 14 berikut ini.



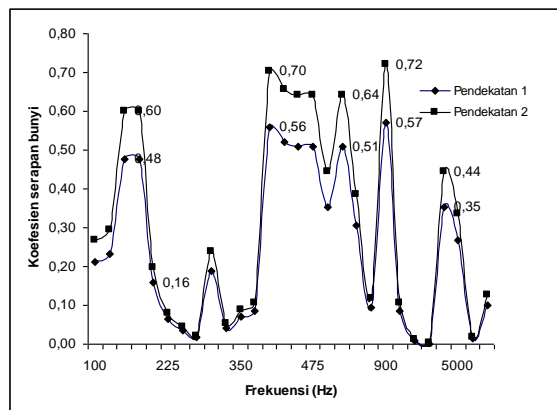
Gambar 14. Foto sampel pengujian serapan bunyi PKEG

Berdasarkan hasil analisis data dapat dibuat grafik hubungan antara frekuensi dengan koefisien

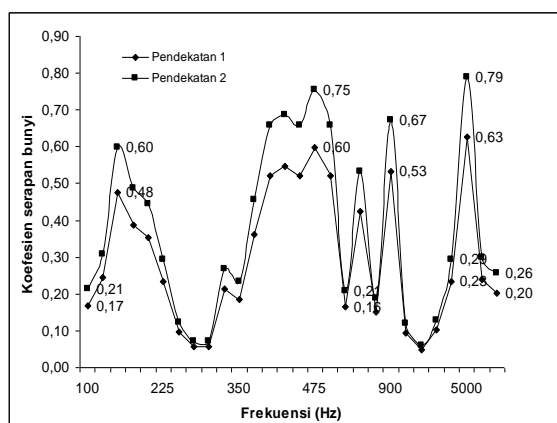
serapan bunyi untuk masing-masing variasi sampel seperti berikut.



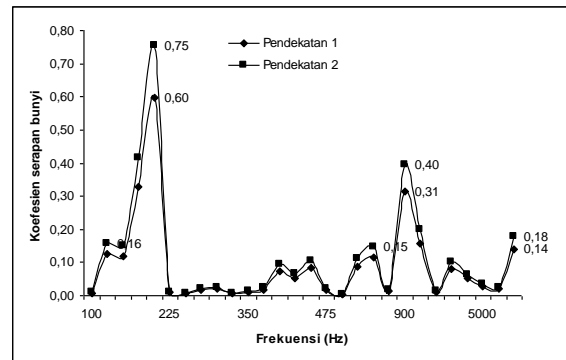
Gambar: 15 Grafik hubungan antara frekuensi bunyi dan koefisien serapan bunyi papan komposit eceng gondok dengan perbandingan serat dan matrik (50:50)% dan tebal 10 mm



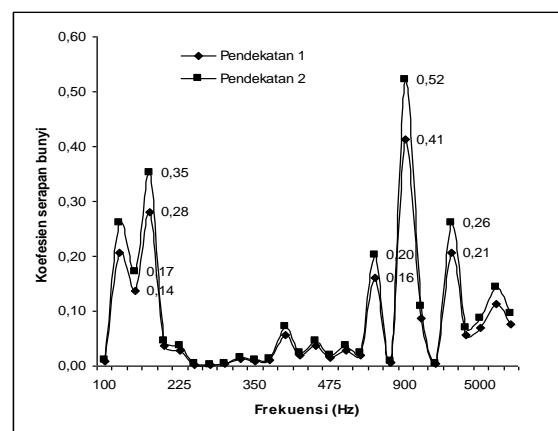
Gambar: 16 Grafik hubungan antara frekuensi dan koefisien serapan bunyi papan komposit eceng gondok dengan perbandingan serat dan matrik (40:60)% tebal 10 mm



Gambar: 17 Grafik hubungan antara frekuensi dan koefisien serapan bunyi papan komposit eceng gondok dengan perbandingan serat dan matrik (30:70)% dan tebal 10 mm



Gambar: 18 Grafik hubungan antara frekuensi dan koefisien serapan bunyi papan komposit eceng gondok dengan perbandingan serat dan matrik (30:70)% dan tebal 16 mm



Gambar: 19 Grafik hubungan antara frekuensi dan koefisien serapan bunyi papan komposit eceng gondok dengan perbandingan serat dan matrik (30:70)% dan tebal 20 mm

Berdasarkan grafik hubungan antara frekuensi dan koefisien serapan bunyi pada papan komposit eceng gondok dengan perbandingan antara serat eceng gondok dan matrik Poly vinyl Acetate untuk variasi sampel (50:50; 40: 60, dan 30:70)%, dan ketebalan yang berbeda secara umum dapat menyerap bunyi karena eceng gondok adalah bahan berpori yang memiliki jaringan selular dengan pori-pori yang saling berhubungan. Sesuai dengan teori yang menjelaskan bahwa serat merupakan salah satu bahan yang dapat menyerap bunyi (Doelle, L.L., 1985)

Papan komposit eceng gondok dapat menyerap bunyi dengan baik pada frekuensi rendah ($f < 500$ Hz), frekuensi sedang ($500 < f < 1000$ Hz) maupun frekuensi tinggi ($f > 1000$ Hz), sesuai standar yang berlaku yaitu standar ISO 11654:1997(E), dimana koefisien serapan bunyi bahan akustik minimal sebesar 0,15. Daya serap bunyi terbaik untuk frekuensi rendah pada variasi sampel (30:70)% dengan koefisien serapan 0,17 sampai 0,75, frekuensi sedang pada variasi (40:60)% dengan koefisien serapan 0,31 sampai dengan 0,72, dan untuk frekuensi tinggi pada variasi (30:70)% dengan koefisien serapan 0,20 sampai 0,79.

Meningkatnya ketebalan papan komposit koefisien serapnya terbaik bergeser ke frekuensi rendah dan sedang, kurang baik untuk frekuensi tinggi.

Serapan bunyi terbaik untuk frekuensi rendah pada ketebalan 16 mm dengan koefisien serapan 0,33 sampai 0,75, untuk frekuensi sedang terbaik pada ketebalan 20 mm dengan koefisien serapan 0,16 sampai 0,52 dan untuk frekuensi tinggi pada ketebalan 16 mm dengan koefisien serapan bunyi 0,14 sampai 0,18. Ini sesuai dengan teori penyerap berpori mempunyai karakteristik penyerapan bunyinya lebih efisien pada frekuensi tinggi dibandingkan pada frekuensi rendah. Selanjutnya efisiensi akustiknya membaik pada jangkauan frekuensi rendah dengan bertambahnya tebal lapisan penahan yang padat dan dengan bertambahnya jarak dari lapisan penahan ini. Bahan berpori ini antara lain ubin selulosa, serat mineral, serat-serat karang (*rock wool*), serat-serat gelas (*glass wool*), serat-serat kayu, lakan (*felt*), rambut, karpet, kain dan sebagainya. (Doelle, 1993).

Berdasarkan penelitian ini dengan melihat koefisien serapan bunyi yang diperoleh maka papan komposit eceng gondok dengan matrik Poly Vinyl Acetate dapat dijadikan salah satu alternatif pembuatan panel akustik.

Berdasarkan pada Gambar 15 sampai 19, hal-hal yang dapat direkomendasikan adalah sebagai berikut:

Jika ingin membuat papan komposit dengan penguat serat eceng gondok dan matrik PVAc untuk menyerap bunyi frekuensi rendah dengan ketebalan 10 mm, akan diperoleh papan komposit dengan karakteristik kuat tariknya tinggi tetapi kuat lenturnya rendah

Jika ingin membuat papan komposit dengan penguat serat eceng gondok dan matrik PVAc untuk menyerap bunyi frekuensi tinggi dengan ketebalan 10 mm akan diperoleh papan komposit dengan karakteristik kuat lentur dan kuat tariknya tinggi. Untuk membuat papan komposit eceng gondok dengan matrik PVAc sebaiknya jangan terlalu tebal semakin tebal koefisien serapan bunyi terbaiknya bergeser ke frekuensi rendah.

Jika ingin membuat papan komposit untuk bahan mebel sebaiknya dengan variasi antara serat eceng gondok dan matrik PVAc (40:60)%

KESIMPULAN

Dengan mengacu pada tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini dan hasil analisis data serta pembahasan yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian tarik PKEG diperoleh: beban maksimum, kekutan tarik maksimum dan perpanjangan terbaik pada sampel variasi (30:70)% dengan nilai masing-masing. 26,33 kgf, 17 kg/cm², dan 25,25%.
2. Hasil pengujian lentur PKEG diperoleh kerapatan dari 0,65 sampai 0,82 kg/m³ kekuatan lentur dan modulus elastis terbaik pada sampel variasi (40:60)% dengan nilai (42,67 ± 0,4201) kgf/cm² dan (4339,23 ± 0,1014) kgf/cm² menunjukkan bahwa PKEG termasuk papan komposit kerapatan sedang dan tipe 30.
3. Papan komposit eceng gondok dapat menyerap bunyi dengan baik pada frekuensi rendah, sedang dan tinggi. Dan untuk variasi ketebalan, semakin tebal daya serapnya menurun dan baik pada frekuensi rendah

DAFTAR PUSTAKA

- Christiani, E.S., 2008. Karakterisasi Ijuk pada Papan Komposit Ijuk Serat Pendek Sebagai Perisai Radiasi Neutron, Tesis, USU
- Doelle, L L., 1985. Akustik Lingkungan. Terjemahan , Lea Prasetia. Eurabaya: Erlangga
- Fajriani, Esi. 2010. Aplikasi Perekat Dalam Pembuatan Kayu Laminasi. Laporan Akhir Praktikum. Institut Pertanian Bogor : Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan. Tersedia di: <http://fajrianifpt.blogspot.com/2010/05/tugaskuliah.html> (3 Agustus 2010)
- Gibson, R.F. 1994. Principles of Composites Material Mechanics, ed., p.p. 115-155. Singapore: Mc. Graw Hill
- Himawanto, Dwi Aries. 2007. Karakteristik Panel Akustik Sampah Kota pada Frekuensi Rendah dan Frekuensi Tinggi akibat Variasi Kadar Bahan Anorganik. JURNAL TEKNIK GELAGAR, Vol. 18, No. 01, 19 – 24.
- Khuriati, Ainie. Eko Komaruddin, dan Muhammad Nur. 2006. Disain Peredam Suara Berbahan Dasar Sabut Kelapa dan Pengukuran Koefisien Penyerapan Bunyinya. Berkala Fisika, Vol.9, No.1, Januari, hal 15-25.
- Kriswiyanti E., dkk, 2009. Kinetika Hidrolisa Selulosa dari Eceng Gondok dengan Metode Arkenol untuk Variabel Perbandingan Berat Eceng Gondok dan Volume Pemasakan, jurnal Ekuilibrium Vol.7.No.2. Juli 2009:77-88
- Lee, Youneung dan Changwhan Joo. Sound Absorption Properties of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers. AUTEX Research Journal, Vol. 3, No2, 78-84.
- Masturi, dkk, 2010. Efektivitas Polyvinyl Acetate (PVAc) Sebagai Matriks Pada Komposit Sampah, jurnal berkala fisika Berkala Fisika Vol. 13 , No.2, April 2010 hal 61- 66.
- Pasaribu, G., Sahwalita., 2007. Pengolahan Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Kertas Seni, Prosiding Ekspose Hasil-Hasil Penelitian Padang 2007.
- Pratama, J., 2008, Prarancangan Pabrik Prarancangan Pabrik Polivinil Asetat Dari Vinil Asetat Monomer Dan Metanol Dengan Batch Solution Polymerization Process Kapasitas 50.000 Ton/Tahun. thesis, UNMUH Surakarta.
- Satwiko, Prasasto. 2005. Fisika Bangunan 1. Yogyakarta: Andi
- Syafiisab, A.A., 2010, Pengaruh Komposit Core Berbasis Limbah Kertas, dengan Pencampur Sekam Padi, dan Serabut Kelapa terhadap Kekuatan Bending Panel, USM Surakarta.

PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC) BERBASIS NANOPORI TiO_2 MEMANFAATKAN EKSTRAKSI KLOROFIL DAUN KENIKIR (*COSMOS CAUDATUS KUNTH*)

Hendra Darmaja², Hardani², M. Iman Darmawan², Cari¹, Agus Supriyanto¹

¹Dosen Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

²Mahasiswa S2 Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Email (contact person); Hendra.Darmaja2008@gmail.com

Abstrak

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan seperangkat sel surya yang berbasis fotoelektrokimia, yang melibatkan transfer muatan listrik dari suatu fase ke fase lain. Pembuatan prototipe Dye-sensitized solar cell (DSSC) ini memanfaatkan klorofil daun kenikir (cosmos caudatus kunth). Penelitian ini bertujuan untuk membuat Dye-sensitized solar cell (DSSC) dan mengetahui efisiensi yang dihasilkannya. Dye-sensitized solar cell (DSSC) ini terdiri dari sepasang substrat kaca FTO (Fluor-doped tin oxide) yang saling berhadapan. Kaca tersebut berperan sebagai elektroda dan counter elektroda dan dipisahkan oleh elektrolit redoks (I^-/I_3^-), disusun saling mengapit membentuk wafer. Pada elektroda, dideposisikan lapisan nanokristal TiO_2 berpori, serta disensitasi dye klorofil daun kenikir (cosmos caudatus kunth). Sedangkan pada counter elektroda dilapisi dengan lapisan platina. Ekstraksi klorofil daun kenikir (cosmos caudatus kunth) dilakukan dengan perbandingan campuran pelarut etanol, asam asetat, dan aquades (30: 7: 30). Pada penelitian ini dilakukan variasi perendaman sel dalam larutan dye klorofil daun kenikir (cosmos caudatus kunth) dengan lama perendaman masing-masing, 12 jam, dan 24 jam. Besar efisiensi DSSC yang dihasilkan dari klorofil daun kenikir (cosmos caudatus kunth) pada saat perendaman 12 jam, dan 24 jam adalah 0,14%, dan 0,22%. Efisiensi tertinggi terdapat pada saat perendaman 24 jam.

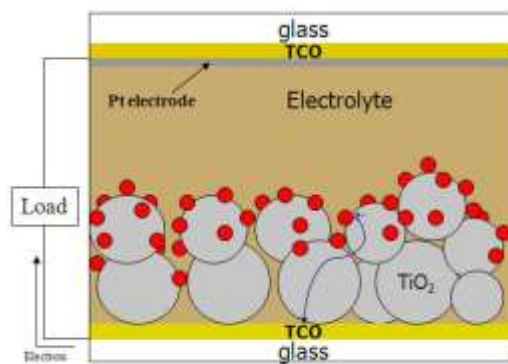
Kata kunci : Dye-sensitized solar cell (DSSC), Klorofil, cosmos caudatus kunth, TiO_2 , Efisiensi.

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi didunia sangatlah besar, di indonesia bahkan didunia sedang gencar-gencarnya para peneliti menemukan sumber energi alternatif, sebagai pengganti energi fosil. Salah satu energi alternatif adalah energi matahari. Energi matahari di indonesia khususnya jumlahnya sangat melimpah dan dikatakan cukup besar untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif. Untuk mewujudkan hal itu, maka dibutuhkan suatu sistem untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Salah satu pemanfaatan energi matahari adalah melalui penggunaan sel surya (solar cell), karna ini merupakan alternatif yang cukup menjanjikan.

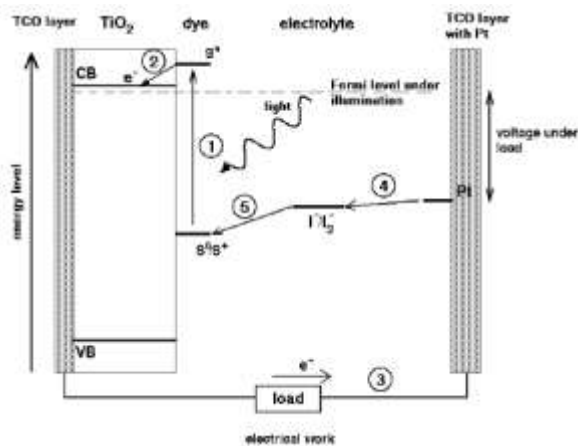
Michael Gratzel dan Brian O'Regan telah berhasil mengembangkan sistem sel surya yang dikenal dengan *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Gratzel Cells. (Grätzel et al. 2003; Grätzel et al. 2005). *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) merupakan sel surya yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

DSSC merupakan sel surya fotoelektrokimia sehingga digunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul dye yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif. Struktur DSSC nampak seperti Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

Prinsip kerja DSSC diawali dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton dari keadaan *ground state* (S) menuju *excited state* (S^*). Kemudian Energi dari foton tersebut cukup untuk menginjeksi elektron masuk ke pita konduksi dari TiO_2 meninggalkan molekul dye ke keadaan oksidasi S^+ . Kemudian elektron mengalir menuju anode (elektroda negatif) melalui TiO_2 dengan proses difusi. Selanjutnya melalui *external load* menuju katode (elektroda positif). Setelah itu Pada katode, elektron berpindah menuju triiodida pada elektrolit menghasilkan iodine. Dan Siklus dilanjutkan dengan reduksi dye oleh iodine pada elektrolit. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prinsip Kerja DSSC (J.Halme at al. 2002)

DSSC tidak lepas dari Dye, oleh karenanya Dye yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium kompleks. Selain itu, *dye-photosintez* merupakan faktor yang penting dalam menentukan performansi DSSC, misalnya sifat serapan fotosensitizernya, yang menentukan secara langsung rentang fotorespon dari sel surya. Dye berfungsi menyerap cahaya tampak, memompa elektron ke dalam semikonduktor, menerima elektron dari pasangan redoks dalam larutan, dan seterusnya dalam suatu siklus, sehingga dye berperan sebagai pompa elektron molekuler. Dye harus mempunyai kandungan klorofil yang tinggi, mempunyai serapan yang kuat di daerah cahaya yang tampak, stabilitas tinggi dan reverseibilitas dalam bentuk teroksidasinya. Dye yang digunakan dalam DSSC mempunyai gugus kromofor terkonjugasi sehingga memungkinkan terjadinya transfer elektron.

Pada tumbuhan banyak senyawa-senyawa yang dapat digunakan sebagai dye, ini dibuktikan pada proses fotosintesis. Zat-zat tersebut ditemukan pada daun atau buah, yaitu klorofil, antosianin, dan xantofil. Salah satu dye yang sering digunakan sebagai bahan fotosensitizer adalah klorofil (Sumaryanti, et.al, 2011; Supriyanto, at.al, 2007, Zhou, et.al, 2011).

Peneliti telah membuktikan bahwa klorofil dapat tereksitasi dengan adanya penyinaran pada penyerapan dye. Klorofil banyak terdapat pada hampir semua tumbuh-tumbuhan yang berwarna hijau dan alga. Dalam penelitian ini dye klorofil yang digunakan adalah ekstraksi bagian daun pada kenikir (*Cosmos Caudatus Kunth*).

METODOLOGI PENELITIAN

1. Bahan dan Alat

Alat : Neraca digital, Pipet tetes, Gelas ukur, hotplate, magnetik stirel, Alumunium foil, Blender, kertas saring, sarung tangan, spin coater, UV Vis Spektrophotometer, Keithley.

Bahan : Bahan yang digunakan adalah ekstraksi dari klorofil daun kenikir, kaca FTO (Fluorine doped in oxide), Titanium dioxide (TiO_2), etanol, metanol, asam asetat, aquades, Potassium Iodide (KI), Iodine (I_2),

Polyethylene Glycol (PEG), Platina, isolasi aluminium.

Cara kerja :

1. Persiapan

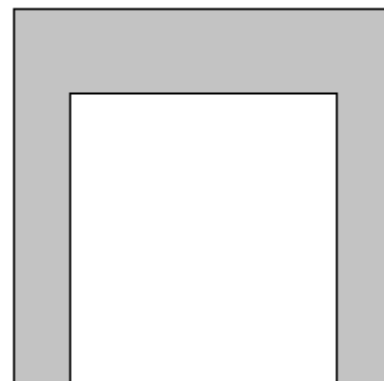
Sebelum melakukan pengujian dalam penelitian, hal yang pertama di lakukan adalah membersihkan alat-alat yang akan di pakai untuk mengekstraksi seperti mortar, botol, gelas kimia, tip, pipet tetes dan spatula. Pembersihan alat dilakukan dengan menggunakan cairan alkohol 96% untuk menghasilkan pembersihan yang lebih steril terhadap alat-alat yang akan di pakai.

Hal yang terpenting juga adalah substrat yang akan dipakai yakni kaca konduktif *Flourine Tin Oxide* (FTO). Kaca tersebut dibersihkan dengan menggunakan ultrasonic cleaner. Pembersihan kaca di lakukan untuk mensterilkan sehingga terbebas dari material-material yang tidak bisa di bersihkan dengan air biasa. Adapun pembersihan kaca substrat dilakukan dengan menuangkan Alkohol 96% sebanyak 250 ml, kemudian kaca FTO ukuran 3 x 3 cm dicelupkan ke dalam gelas kimia berisi Alkohol 96% dan pada ultrasonic cleaner di isi dengan air biasa atau aquades sampai pada batas di atas 250 ml. selanjutnya gelas kimia berisi Alkohol dan telah tercelup dengan kaca FTO dimasukkan ke ultrasonic cleaner. Batas yang diberikan pada proses pembersihan yakni 5 menit, sampai kaca terlihat bersih dan steril, setelah batas waktu berakhir, kaca FTO di keringkan dengan hair drayer, begitu juga dengan alat-alat yang di bersihkan yang lain.

2. Pendeposisian pasta TiO_2

Pada penelitian ini TiO_2 akan di deposisikan dengan teknik *spin coating*, dan TiO_2 yang digunakan dalam penelitian ini adalah Titanium (IV) Oxide, nanopowder, 21 nm > 99,5% trace metals basis. Adapun langkah-langkah pendeposisian pasta TiO_2 adalah:

1. Menyiapkan kaca FTO (*Flourine Tin Oxide*), kemudian mengukur resistensinya dengan menggunakan multimeter digital. Setelah itu kaca FTO di buat luasanya dengan perbandingan 2 x 1.5, kemudian pinggirnya diberikan isolasi aluminium foil. Gambar 3



Gambar 3. Skema Deposisi TiO_2 pada Kaca FTO.

2. Menimbang TiO_2 sebanyak 2 gram, dicampur dg larutan 4 ml etanol, kemudian di campur sampai homogen dengan magnetik stirel.

3. Setelah TiO₂ sudah jadi, kemudian dideposisikan ke atas kaca FTO dengan metode spin coating dengan posisi konduktif menghadap keatas. Setelah itu dinyalakan mesin kompresor, mesin penghisap udara, dan mesin spin coater secara bersamaan. Kemudian diatur mesin dengan putaran 500 RPM (*rotation per minute*) selama 15 detik dan 1000 RPM (*rotation per minute*) selama 30 detik. Kemudian pasta TiO₂ yang telah jadi ditetaskan sebanyak 3 tetes keatas kaca konduktif, lalu menekan tombol *enter* pada mesin *spin coater* sehingga mesin berputar sesuai dengan resep yang telah diatur pada mesin, setelah mesin berhenti kemudian pasta diangkat. Pada kaca FTO yang telah dilapisi TiO₂ tersebut dipanaskan dengan suhu 500 °C selama ±60 menit.

3. Ekstraksi dye klorofil daun kenikir

Daun kenikir yang masih segar ditimbang sebanyak 30 gram, kemudian digerus dengan menggunakan mortar sampai halus dan dimasukkan kedalam erlenmeyer. Pelarut disiapkan berupa metanol, asam asetat, dan aquades dengan perbandingan (30: 7: 30) ml. Kemudian pelarut tersebut dicampurkan dengan ekstraksi klorofil daun kenikir dalam erlenmeyer selama 24 jam. Erlenmeyer kemudian dilapisi dengan aluminium foil, dan untuk ekstraksi klorofil disaring dengan menggunakan kertas saring, dan dimasukkan kedalam botol ditutup rapat dan dilapisi aluminium foil. (Maddu et al. 2007).

4. Deposisi Dye ke Lapisan TiO₂

Setelah proses ekstraksi dye dari daun kenikir, sudah selesai, dan TiO₂ yang telah di deposisikan ke FTO tersebut sudah menjadi lapisan, maka lapisan TiO₂ tersebut kemudian di rendam kedalam larutan dye dengan variasi waktu 12 jam, dan 24 jam. (Vitriany et al. 2013).

5. Preparasi Elektrolit

Larutan Elektrolit di buat dari Pottasium iodide (KI) sebanyak 8,3 gram dan (I₂) sebanyak 1,26 gram dilarutkan ke dalam 100 ml *polyethylene glycol* 4000 (PEG 4000) kemudian larutan diaduk, dan larutan elektrolit yang sudah jadi, disimpan dalam botol tertutup. (Ferri et al. 2013).

6. Preparasi Elektroda Lawan

Kaca FTO yang sudah di bersihkan dengan Etanol 96% kemudian di ukur resistensinya dengan menggunakan multimeter, kemudian kaca FTO di buat area dengan ukuran 2 x 1.5 cm. Pada penelitian ini, *conter elektroda* yang digunakan yakni Hexachloroplatinic (IV) acid Sol About 10% GR. Platina kemudian di larutkan dengan menggunakan Isopropanol yakni dengan perbandingan volume 1 ml Hexachloroplatinic (IV) acid Sol About 10% GR dengan 207 ml Isopropanol. Kemudian diaduk atau di kocok sampai kedua bahan tersebut benar-benar tercampur. Setelah campuran jadi, kemudian kaca FTO yang sudah di sterilkan dipanaskan dan di tetaskan dengan larutan Platina tersebut sebanyak 6 ml.

7. Perakitan DSSC

Pada tahap perakitan, komponen-komponen yang telah selesai di preparasi dan berhasil di buat

kemudian di susun dengan struktur *Sanwich* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Lapisan TiO₂ yang telah di rendam larutan Dye dengan pariasi waktu 12 jam, dan 24 jam.
- Elektroda Lawan (*Conter Elektroda*) di tumpukkan di atas elektroda kerja.
- Masing-masing ujung di beri offset sebesar 0,3 cm untuk kontak elektrolit, kemudian struktur Sel *Sanwich* dijepit dengan *clipboard* pada kedua sisi agar tidak terlepas.
- Untuk mencegah terjadi Shot Contact, maka di antara kedua elektroda disisipi *Spacer* dari bahan isolator. Seperti pada Gambar 4



Gambar 4. Struktur DSSC

8. Pengisian Elektrolit pada DSSC

Larutan elektrolit yang sudah di buat kemudian di tetaskan sebanyak 2 tetes di antara kedua ruang elektroda.

9. Pengujian Sifat Optik

Sebelum Peneliti menguji karakteristik I-V DSSC, terlebih dahulu di uji sifat Optik dari larutan Dye yang telah di ekstraksi dan di larutkan dengan pelarut metanol, asam asetat, dan aquades dengan perbandingan 30 : 7 : 30 dengan tujuan yakni untuk mengetahui tingkat Absorbansi. Adapun untuk menguji tingkat Absorbansi dari Larutan Dye tersebut menggunakan alat Spektrofotometer UV-Visible Lambda 25 dengan panjang gelombang yang digunakan antara 100 - 800 nm.

10. Pengujian Karakteristik I-V DSSC

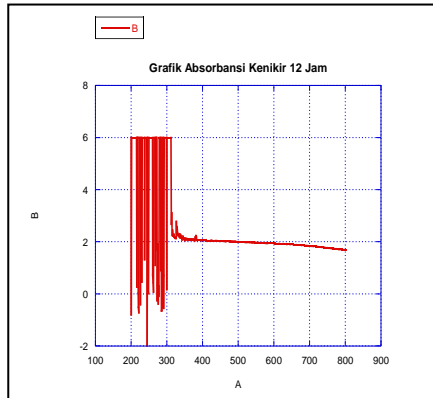
Setelah semua tahapan telah selesai, maka yang terakhir di lakukan adalah pengujian Karakteristik I-V DSSC yang telah dirangkai. Sel surya diuji elektriknya dengan sistem pengukuran Keithley 2602A untuk pengujian dalam ruang dengan cahaya OHP

HASIL DAN PEMBAHASAN

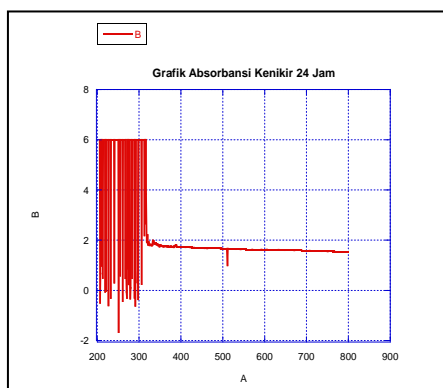
1. Hasil Uji Spektrofotometer UV-Visible Lambda 25 pada Dye Daun Kenikir

Pengukuran spektrum absorbansi klorofil dilakukan dengan cara mengambil dye yang direndam selama 12 jam, kemudian dye yang direndam selama 24 jam, dengan campuran pelarut metanol, asam asetat, dan aquades dengan perbandingan (30 : 7 : 30) ml, kemudian setiap waktu perendaman diukur dengan Spektrofotometer UV-Visible Lambda 25 dengan panjang gelombang yang digunakan antara 100-800 nm. Berdasarkan hasil uji *Spektrofotometer* UV-Visible Lambda 25 pada klorofil dye daun kenikir yakni pengukuran spektrum absorbansi dari masing-masing

waktu perendaman ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 5. Grafik Absorbansi Kenikir 12 Jam

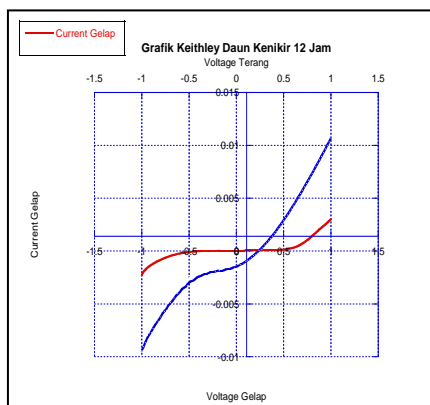


Gambar 6. Grafik Absorbansi Kenikir 24 Jam

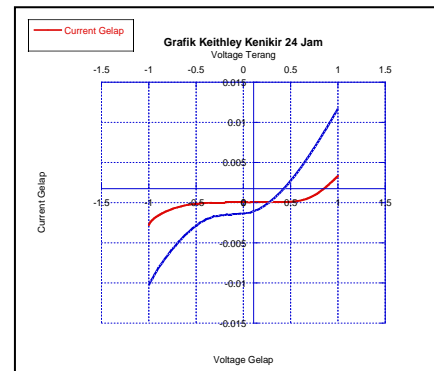
Berdasarkan Gambar 5, dan 6. Absorbansi *dye* kenikir menunjukkan panjang gelombang yang cukup besar, dengan memiliki kemampuan absorbansi yang cukup bagus, sehingga dapat dimungkinkan daun kenikir ini mampu menyerap energi sinar matahari yang baik dan mampu memaksimalkan kinerja dari DSSC.

2. Karakteristik Arus dan Tegangan

DSSC diuji elektriknya dengan sistem pengukuran Keithley 2602A untuk pengujian dalam ruang dengan cahaya OHP. Hasil pengujian arus dan tegangan dengan variasi perendaman 12 jam, dan 24 jam, terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 7. Hasil uji Keithley Kenikir 12 Jam



Gambar 8. Hasil uji Keithley Kenikir 24 Jam

Berdasarkan grafik diatas dapat ditentukan arus (I_{sc}) dan tegangan (V_{oc}). Sehingga berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan hasil efisiensi dari ekstrak daun kenikir dengan perendaman 12 jam, dan 24 jam, ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel I. Data Efisiensi Kenikir pada perendaman 12 jam, dan 24 jam

Bahan	Lama Perendaman	
	Efisiensi 12 Jam	Efisiensi 24 Jam
Daun Kenikir	0,14%	0,22%

Dari tabel 1. Dapat dilihat bahwa efisiensi yang dihasilkan DSSC untuk daun kenikir yang direndam selama 12 jam, dan 24 jam, menunjukkan hasil bahwa efisiensi untuk waktu perendaman selama 24 jam, menghasilkan efisiensi yang paling besar, sedangkan untuk efisiensi yang paling kecil dihasilkan dengan waktu perendaman selama 12 jam. Ini menunjukkan bahwa hubungan antara lama waktu perendaman dengan hasil efisiensi saling mempengaruhi, dimana semakin lama waktu perendaman, maka efisiensi yang dihasilkan semakin besar.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Daun kenikir (*Cosmos Caudatus Kunth*) memiliki nilai panjang gelombang yang cukup bagus, sehingga dapat digunakan sebagai pewarna alami dalam DSSC.
2. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa adanya hubungan antara lama perendaman dengan hasil efisiensi yang dihasilkan, semakin lama perendaman maka, hasil efisiensi yang dihasilkan semakin besar. Terlihat pada efisiensi perendaman 24 jam, memiliki efisiensi yang paling besar yakni 0,22%, dan 0,14% untuk waktu perendaman selama 12 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Program Hibah Pascasarjana Ilmu Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta No.301A/UN27/PN/2014 dan Laboratorium Fisika Material Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.

I. DAFTAR PUSTAKA

- Ferri Rusady Saputra, Ferdy Samuel Rondonuwu, Adita Sutresno. 2013. Pemanfaatan Ekstrak Klorofil Kol Merah (*Brassica Oleracea* var) sebagai Dye Sensitized dalam Pembuatan Prototipe Solar Cell (DSSC). Salatig: Fakultas Sains dan Matematika, UKSW. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII, Vol 4, No.1, ISSN: 2087-0922
- Grätzel, Michael, 2003. Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology*. Vol.4, 145-153.
- Grätzel, Michael, 2005. Photovoltaic performance and long-term stability of dye-sensitized mesoscopic solar cells. *C.R. Chimie* 9 (2006) 578–583.
- J.Halme, 2002. “Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary test”, Thesis, Helsinki University of Technology, Department of Engineering Physics and Mathematics,.
- Maddu, Akhiruddin., Mahfuddin Zuhri, dan Irmansyah. 2007. Penggunaan Ekstrak Klorofil Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye. Bogor: Institut Pertanian Bogor. *Jurnal Makara, Teknologi*, Vol. 11, No. 2, 78-84
- Sumaryanti, Utari, Agus Surpiyanto, Budi Purnama, M. Widy. 2011. Karakterisasi dan Sifat Optik Klorofil Spirulina SP Sebagai Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Material dan Energi*. Vol:01 No:03:141-147
- Supriyanto, A., Kusminarto, Triyana, K., et al. 2007. Optical and Electrical Characteristic of Chlorophyll-Porphyrin Isolated from Spinach and Spirulina Microalgae for Possible Use as Dye Sensitizer of Optoelectronic Devices. *ICCS. MAT/19-33P*
- Vitriany Ekasari, Gatut Yudoyono, 2013, Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating, *Jurnal Sain dan Seni POMITS* Vol. 2, No.1.
- Ying Li, Shu-Hao Ku, Shen-Meng Chen, M. Ajmal Ali, Fahad M. A. AlHemaid (2013). “Photoelectrochemistry for Red Cabbage Extract as Natural Dye to Develop a Dye-Sensitized Solar Cells”, *International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE*. Vol. 8, 1237 – 1245
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., Ma, T. 2011. Dye-sensitizer solar cells using 20 natural dyes as

sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry* 219 :188-194
<http://www.ise.fhg.de/areas-of-business-and-market-areas/solar-cells/dye-and-organic-solar-cells/manufacturing-of-dye-solar-cells/manufacturing-of-dye-solar-cells>

Pengaruh Dispersant Polietilen Glikol dan Triton X 100 terhadap Stabilitas Fotokatalis dan Aglomeritas Suspensi Nanopartikel TiO₂ dalam *Dirt-Free Paint*

Dyah Sawitri¹, Nur Fadhilah², Nurfadilah³, Cindy Claudia Febiola⁴, Ibnu Taufan⁵, Rima Fitria Adiati⁶
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email : nurfadhilah321@gmail.com²

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dispersant terhadap stabilitas fotokatalis dan aglomeritas nanopartikel TiO₂ sebagai optimasi *dirt-free paint*, yaitu bahan komposit cat yang mempunyai sifat anti noda dan mampu membersihkan dirinya sendiri (*self-cleaning*) dengan bantuan cahaya dan air. Dispersant yang digunakan Polietilen Glikol dan Triton X 100 dilarutkan pada cat berwarna putih. Komposisi massa TiO₂ 2% massa cat, dengan perbandingan anatase : rutil sebesar 90:10. Suspensi cat, TiO₂, dan dispersant dengan magnetic stirer selama 2 jam dengan suhu 50°, dilanjutkan dengan suhu 60° selama 15 menit. Pengujian yang dilakukan meliputi uji DSC, XRD, FTIR, uji self-cleaning, dan SEM-EDX. Dari uji self-cleaning dengan dua macam pengotor, diperoleh hasil bahwa untuk pengotor lumpur dan pengotor pewarna makanan, sampel terbaik adalah sampel dengan dispersant Triton X-100, dengan selisih luas pengotor dengan prosentase 27,252 % dan 17,645%. Hasil uji SEM-EDX menunjukkan ukuran partikel TiO₂ rata-rata untuk cat tanpa dispersant adalah 132.02 nm. Dengan penambahan dispersant PEG, ukuran partikel menjadi 104.98 nm. Dari hasil-hasil pengujian tersebut maka dalam penelitian ini dapat ditunjukkan bahwa bahan dispersant berpengaruh terhadap stabilitas fotokatalis sehingga dapat menimbulkan sifat *self cleaning*, serta terhadap sifat aglomeritas sehingga mampu mendispersikan TiO₂ didalam cat dengan baik

Kata kunci: dirt-free paint, dispersant, TiO₂.

PENDAHULUAN

Faktor cuaca yang kurang menentu di Indonesia menyebabkan munculnya inovasi *dirt-free paint*, atau cat anti kotor. *Dirt-free paint* dimaksudkan agar tembok terbebas dari kotoran baik itu debu, lumpur, tanah dan lainnya. *Dirt-free paint* adalah kemampuan cat untuk membersihkan sendiri dari kotoran melalui reaksi kimia. Dengan adanya teknologi ini maka diharapkan dapat mempertahankan nilai estetika tembok. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan untuk aplikasi *dirt-free paint* pada cat adalah dengan memanfaatkan fotokatalisis bahan TiO₂. Tetapi efek fotokatalis TiO₂ dapat mendekomposisi atau menguraikan senyawa organik menjadi CO₂ dan H₂O, dimana pada penelitian ini efek fotokatalis TiO₂ akan digunakan untuk mendekomposisi kotoran yang menempel pada permukaan cat (Nining., 2012). Penggunaan TiO₂ pada cat dapat menjadikannya *dirt-free paint* tetapi efeknya adalah resin/binder dari cat akan mudah mengalami kerusakan karena TiO₂ merupakan fotokatalis yang menggunakan sinar ultraviolet untuk prosesnya, sehingga resin yang terbuat dari bahan polimer akan mengalami pecah (*cracking*) karena efek dari sinar UV (Roland., 2000).

Katalis TiO₂ umumnya berbentuk padat sehingga partikelnya cenderung lengket satu sama lain atau mengalami penggumpalan (secara

mikroskopis), oleh karena itu dibutuhkan perlakuan khusus sebelum diaplikasikan pada permukaan (Slamet., 2008). *Dispersant* atau zat pendispersi adalah bahan yang berfungsi untuk mendispersikan partikel-partikel dalam suspensi yang cenderung lengket satu sama lain agar tidak terjadi penggumpalan. Dengan penambahan dispersant dengan jumlah tertentu dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fotokatalis TiO₂ karena dapat mengurangi penggumpalan bahan TiO₂ dan menjadikannya lebih homogeny (Nining., 2012).

Pada penelitian ini digunakan 2 jenis dispersant untuk mengetahui pengaruhnya terhadap TiO₂, yaitu Polietilen Glikol dan Triton X 100, dikarenakan bahan TiO₂ merupakan *powder* yang partikelnya cenderung lengket satu sama lain atau mengalami penggumpalan secara mikroskopis. Oleh karena itu diperlukan *dispersant* untuk memisahkan partikel-partikel TiO₂ agar memiliki jarak yang renggang apabila dicampurkan pada cat. Apabila *dispersant* telah melapisi partikel TiO₂, maka *dispersant* akan mencegah terjadinya penggumpalan TiO₂.

METODE PENELITIAN

Perancangan Eksperimen

A. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Titanium (IV) oxide, polietilen glikol, triton x 100, akuades, cat paragon warna putih, dan

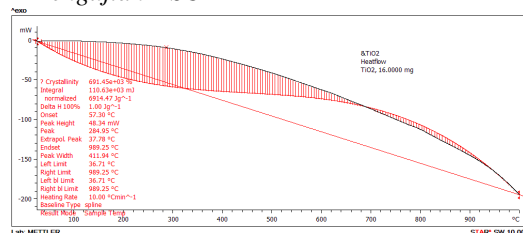
papan asbes sebagai objek pengecatan ukuran 10x10 cm.

B. Peralatan

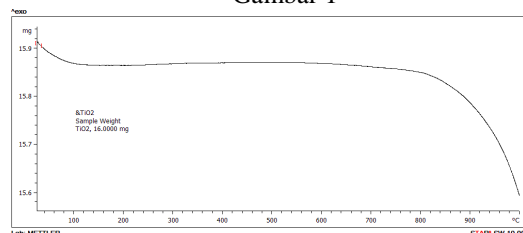
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan untuk pembuatan sampel dan peralatan untuk karakterisasi (pengujian). Peralatan untuk pembuatan sampel terdiri dari: timbangan digital, gelas kimia, gelas ukur, *magnetic stirrer*, *furnace*, kuas, dan *mixer*. Peralatan karakterisasi meliputi *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk mengetahui energi yang diserap atau dikeluarkan sampel sebagai fungsi waktu dan temperatur, *X-Ray Diffraction* (XRD) Phillips X'Pert MPD untuk mengetahui struktur dari TiO_2 , *Fourier Transform Infrared* (FTIR) thermo scientific tipe nicolet iS10 untuk mengetahui jenis ikatan kimia antara TiO_2 dengan dispersant, software pengolahan citra (*ImageJ*) untuk membandingkan prosentase luas pengotot pada saat pengujian self cleaning, dan pengujian *Scanning Electrone Microscope- Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui jenis atom di permukaan bahan yang mengandung multi atom.

HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian DSC



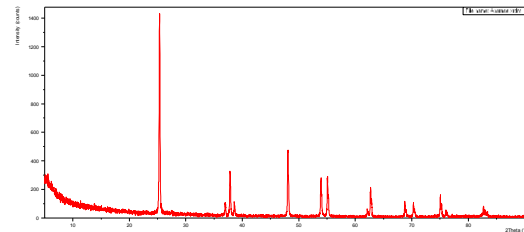
Gambar 1



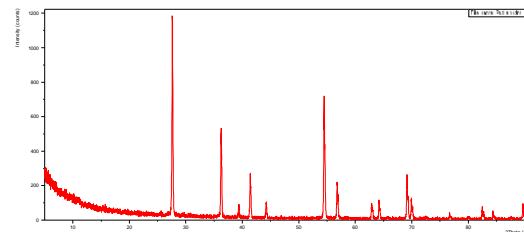
Gambar 2

Analisa DSC (gambar 1) menunjukkan terdapat perubahan kristalinitas secara drastis yang mengakibatkan perubahan fase TiO_2 pada suhu antara 300°-400°C. Demikian pula pada suhu 1000°C. Hasil ini menjadi pedoman untuk melaksanakan proses kalsinasi untuk membentuk TiO_2 fase Anatase dan Rutile. Analisa berat sampel (gambar 2) menunjukkan penurunan berat yang signifikan antara suhu 800°-1000°C sehingga TiO_2 fase Rutile yang dihasilkan mengalami defek massa cukup besar dibandingkan dengan TiO_2 murni.

B. Pengujian XRD



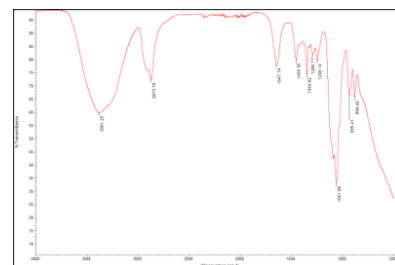
Gambar 3



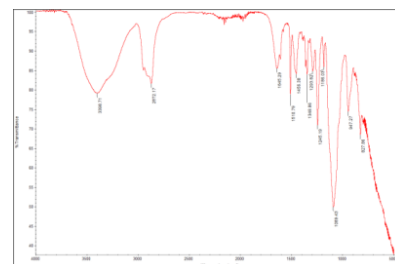
Gambar 4

Hasil *X-Ray Diffraction* pada TiO_2 fase Anatase (gambar 3) bersesuaian dengan data standar JCPDS pada $2\theta = 37.76; 48.02; 53.88; 62.66$. TiO_2 fase Rutile (gambar 4) bersesuaian dengan data standar JCPDS pada $2\theta = 27.56; 36.20; 44.18; 54.44$.

C. Pengujian FTIR



Gambar 5



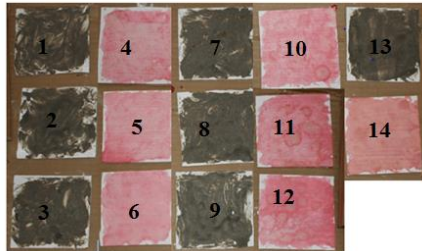
Gambar 6

Uji FTIR yang dilakukan pada hasil suspensi TiO_2 -dispersant menghasilkan data puncak-puncak serapan dari grafik spektrum inframerah. Gambar 5 menunjukkan spektrum FTIR dari hasil suspensi TiO_2 -dispersant polietilen glikol dan gambar 6 menunjukkan hasil suspensi TiO_2 . dispersant triton x 100. Data tersebut dibandingkan dengan data standar HR Aldrich FT-IR collection edition II dan telah sesuai pada tiap-tiap jenis dispersant.

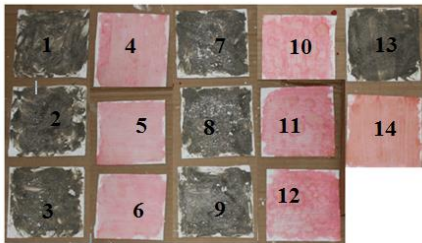
D. Pengujian Self Cleaning



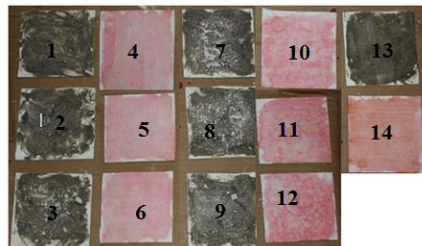
Gambar 7 Setelah pengotoran



Gambar 8 10 jam



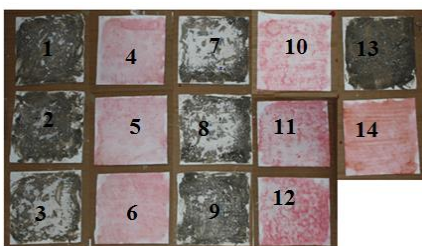
Gambar 9 20 jam



Gambar 10 30 jam



Gambar 11 40 jam



Gambar 12 50 jam

Uji self-cleaning dilakukan selama 50 jam dengan penyemprotan air setiap 10 jam sekali. Dalam uji ini menghasilkan gambar-gambar yang menunjukkan secara kualitatif pengurangan jumlah pengotor. Pada sampel nomor 19 dan 20, yang merupakan sampel cat murni tanpa dispersant, tidak terjadi banyak perubahan dari jumlah pengotor awal hingga 50 jam, yang artinya tidak terdapat aktivitas *self-cleaning*. Secara kuantitatif, tingkat kemampuan self-cleaning dapat dianalisa menggunakan software pengolahan citra *ImageJ*. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil analisa ImageJ untuk pengotor lumpur

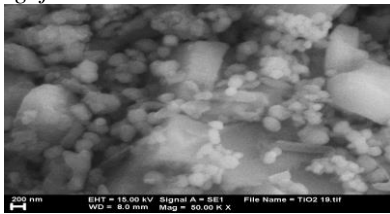
no. Sampel	dispersant	luas pengotor awal (cm ²)	luas sisa pengotor (cm ²)	prosentase pengotor awal(%)	prosentase pengotor sisa(%)	selisih luas pengotor (cm ²)	selisih prosentase pengotor(%)
1	Polyetilen Glikol	66,619	62,173	50,040	49,305	4,446	0,735
2	Polyetilen Glikol	70,153	63,387	50,055	47,021	6,766	3,034
3	Polyetilen Glikol	81,929	50,118	65,357	39,585	31,811	25,772
7	Triton X	82,970	48,678	64,233	36,981	34,292	27,252
8	Triton X	84,401	52,080	68,896	44,643	32,321	24,253
9	Triton X	82,471	72,600	67,095	57,636	9,871	9,459
13	tidak ada	62,435	55,344	50,159	45,011	7,091	5,148

Tabel 2. Hasil analisa ImageJ untuk pewarna makanan

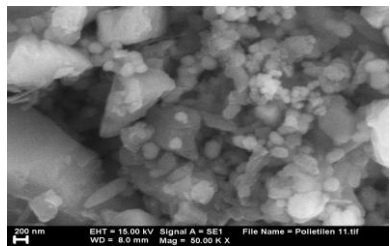
no. Sampel	dispersant	luas pengotor awal (cm ²)	luas sisa pengotor (cm ²)	prosentase pengotor awal (%)	prosentase pengotor sisa(%)	selisih luas pengotor (cm ²)	selisih prosentase pengotor(%)
4	Polyetilen Glikol	63,618	45,218	49,966	36,640	18,400	13,326
5	Polyetilen Glikol	68,557	48,349	50,636	39,563	20,208	11,073
6	Polyetilen Glikol	62,716	39,868	50,920	32,689	22,848	18,231
10	Triton X	64,360	39,781	49,712	32,067	24,579	17,645
11	Triton X	61,642	45,001	49,979	38,556	16,641	11,423
12	Triton X	60,591	36,477	49,907	32,306	24,114	17,601
14	tidak ada	64,731	45,460	50,395	35,158	19,271	15,237

Untuk melihat dispersant terbaik, digunakan nilai selisih luas pengotor karena lebih jelas menunjukkan luasan yang mengalami *self-cleaning*. Pada tabel 1 diketahui untuk pengotor lumpur, dan pada tabel 2 untuk pengotor pewarna makanan, sampel terbaik adalah sampel dengan dispersant Triton X-100, dengan selisih luas pengotor dengan prosentase 27,252 % dan 17,645%. Selisih prosentase pengotor pada pengotor lumpur lebih besar dibandingkan prosentase pengotor pada pengotor pewarna makanan. Hal ini disebabkan bahwa pengotor lumpur memiliki unsur-unsur organik yang dapat mengalami reaksi fotokatalis dengan TiO₂ pada permukaan cat. Pengotor berupa pewarna makanan mengandung unsur organik yang lebih sedikit sehingga lebih sulit mengalami reaksi fotokatalis.

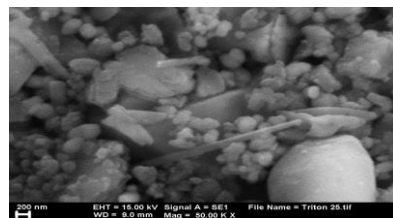
E. Penguji SEM-EDX



Gambar 13 Cat murni



Gambar 14 Polietilen

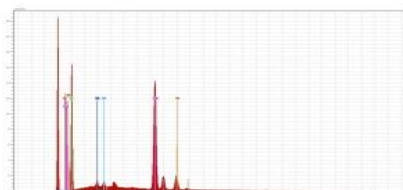


Gambar 15 Triton X 100

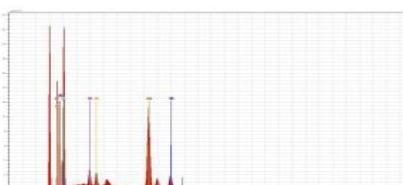
Gambar diatas merupakan hasil analisa SEM dengan perbesaran 50.000 kali. Dilihat bahwa bentuk partikel bervariasi mulai dari bulat halus, batang dan pecahan. Ukuran partikel rata-rata diketahui untuk cat tanpa *dispersant* adalah 132.02 nm, dengan penambahan TiO_2 , penambahan *dispersant* Polyetilen Glikol adalah 104.98 nm, dan *dispersant* Triton X 137.52 nm. Hasil ini menunjukkan *dispersant* yang mencegah aglomerasi TiO_2 paling baik adalah Polietilen Glikol.



Gambar 16 cat murni



Gambar 17 Polietilen Glikol



Gambar 18 Triton X 100

Hasil edx menunjukkan bahwa seluruh sampel mengandung spektrum unsur c, o, al, si, ca, dan ti, sedangkan sampel cat murni mengandung tambahan unsur na, dan mg.

KESIMPULAN

Dari rangkaian penelitian yang telah kami laksanakan, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. TiO_2 berhasil diaplikasikan pada *dirt-free paint* karena telah menghasilkan sifat *self-cleaning*.
2. Sampel yang memiliki sifat *self-cleaning* terbaik adalah sampel dengan *dispersant* Triton X-100, dengan selisih luas pengotor dengan prosentase 27,252 % dan 17.645%. Masing-masing dengan penurunan luasan pengotor sebesar 34,292 cm^2 dan 24,579 cm^2 .
3. Penambahan *dispersant* Polietilen glikol dapat mencegah aglomerasi partikel TiO_2 , dengan ukuran partikel 132.02 nm untuk cat murni dan 104.98 nm dengan penambahan TiO_2 dan *dispersant* Polietilen Glikol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Ibu Dyah Sawitri, ST, MT. selaku dosen pendamping atas saran dan masukannya selama pelaksanaan program ini.
3. Seluruh dosen, asisten laboratorium, dan mahasiswa tingkat akhir yang pernah menjadi tempat *sharing* penulis.
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam kesempatan ini, yang telah memberikan bantuan moril dan materi dalam proses penyelesaian karya tulis ini.

REFERENSI

- Kusmahetningsih, Nining, Sawitri, Dyah . 2012. *Aplikasi TiO_2 Sebagai Self Cleaning pada Cat Tembok dengan Dispersant Polietilen Glikol (PEG)*, Jurnal Teknik Pomits.
- Hillebrandt, Poulsen. et al. 2010. *Self Cleaning Coating Composition*. PCT WO 2010/269997 A1.
- Sulasmono, Bagus. 2012. *Studi Komparasi Pengaruh Variasi Dispersant terhadap Stabilitas Suspensi dan Sifat Hidrofilik Nanopartikel TiO_2 berbasis Air*. Kimia FMIPA UI.
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W., and Bahneman, D.W. 1997. *Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis*. J. Chem. Rev., 69 96.

- Fujishima, A.K., Hasimoto, K., Watanabe, T. 1999. *TiO₂ Photocatalysis Fundamental and Application*. Japan: Koyo printing.
- Basri, A. F. M., & Rivai, V. 2005. *Performance Appraisal*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Benedix, Roland., et al. 2000, *Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Create Self-Cleaning Building Materials*, LACER No. 5, 2000.
- Slamet, C.H.D, Alwi, J. Viriya. 2008, *Rekayasa plastik berlapis nanokristal TiO₂ untuk aplikasi anti kabut dan swa-bersih*. Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.

PENGARUH PENAMBAHAN KROMIUM (CR) TERHADAP KARAKTERISTIK PADUAN KOBALT DENGAN METODE METALURGI SERBUK

SB. Widia Rezaly Biharu Hayati¹, Dyah Hikmawati¹, Jan Ady¹

¹Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, 60115 Surabaya-Indonesia
Email : phy10_widiareza@yahoo.co.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian dengan sintesis paduan kobalt menggunakan variasi Cr (28,5; 30; 31,5; 33 dan 34,5 dari % berat keseluruhan) melalui metode metalurgi serbuk. Berdasarkan hasil uji XRD (X-Ray Diffraction) menunjukkan bahwa terjadi peningkatan presentase fasa γ seiring dengan peningkatan komposisi Cr. Hasil uji SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy) menunjukkan bahwa pada komposisi Cr yang besar terjadi ikatan antar unsur-pemadu yang baik hal ini ditandai dengan tidak jauhnya hasil berat unsur dari sebelum dipadukan dan semakin rendahnya oksidasi. Hasil uji kekerasan menggunakan Microvickers hardness menunjukkan semakin meningkatnya Cr semakin tinggi nilai kekerasan paduan kobalt, kekerasan terbaik pada penelitian ini dihasilkan oleh variasi 33% Cr sebesar 372,57 VHN. Hasil uji korosi menunjukkan bahwa sampel pada variasi 31,5 %-34,5 % Cr memiliki nilai laju korosi sebesar 0,2047; 0,0042 dan 0,089 mpy memenuhi nilai standar Eropa yaitu < 0,457 mpy. Dilihat dari hasil uji XRD, uji SEM-EDX, uji kekerasan dan uji korosi maka paduan kobalt dengan variasi 33% Cr berpotensi sebagai hip prosthesis.

Kata kunci : paduan kobalt, prosthesis, HEM, Sintering, XRD, microvickers hardness, SEM-EDX, uji korosi.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, jumlah pemasangan *hip prosthesis* cukup besar dan mengalami peningkatan setiap tahunnya. Kebutuhan *hip prosthesis* di rumah sakit besar di Yogyakarta misalnya, setiap bulan terdapat sekitar 16 pasien yang memasang *hip prosthesis* atau sekitar 192 unit per tahun dengan ukuran bola hip bervariasi antara 36-46 milimeter dengan harga Rp 8 juta-Rp 12 juta per unit sehingga diperkirakan mencapai Rp 1,536 milyar-Rp 2,304 milyar per tahun (Bening Pos, 2012). Oleh karena itu, banyak orang yang mulai tertarik melakukan kajian tentang biomaterial *hip prosthesis* untuk implantasi tulang.

Pemakaian alat implan di dalam tubuh harus memenuhi syarat mekanis dan non mekanis. Syarat mekanis berupa kekerasan suatu bahan implan, sedangkan syarat non mekanis yaitu memiliki ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus dan biokompabilitas yang baik (Prasetyo, 2010). Logam yang memiliki sifat biokompabilitas adalah logam implan dalam tubuh yang tidak ditolak oleh tubuh, tidak menimbulkan alergi dan dapat menyatu dengan jaringan tulang (Yuswono, 2005).

Material implan yang umum digunakan adalah paduan kobalt, paduan titanium dan stainless steel. Paduan kobalt menjadi pilihan karena memiliki sifat biokompabilitas, sifat mekanik dan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan stainless steel. Meskipun paduan kobalt memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah dibandingkan titanium namun harganya relatif lebih murah dan paduan ini lebih mudah diproduksi dalam jumlah besar karena ketersediaan unsur kobalt di alam lebih banyak dibandingkan unsur titanium.

Elemen dasar paduan kobalt yaitu kromium, molibdenum, mangan, silikon dan nitrogen. Unsur kromium ditambahkan pada paduan kobalt karena kromium mempunyai lapisan anti korosi Cr_2O_3 dan membentuk fasa γ sehingga ketahanannya terhadap

korosi tinggi, selain itu juga memiliki sifat mekanik yang baik.

Berdasarkan kebutuhan implan yang semakin meningkat dan dengan merujuk pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, perlu adanya optimalisasi penelitian tentang sintesis paduan kobalt menggunakan metode metalurgi serbuk dengan mengoptimalkan komposisi kromium berdasarkan ASTM F75 sebagai anti korosi, sehingga perlu adanya informasi yang jelas mengenai komposisi yang tepat dari paduan kobalt yang memiliki sifat mekanik dan non- mekanik yang sesuai dengan tulang manusia.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi paduan kobalt dibawah pengaruh variasi kromium menggunakan metode metalurgi serbuk sebagai material implan. Selanjutnya, akan dilakukan uji sifat mikro menggunakan XRD dan SEM dan sifat mekanik menggunakan uji kekerasan (*vickers*). Selain itu dilakukan uji korosi menggunakan teknik potensiotat. Dengan adanya penelitian ini diharapkan nantinya dihasilkan paduan kobalt dengan kualitas yang baik dalam sifat mekanik dan sifat non-mekanik sesuai dengan material implan.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sifat mikro paduan kobalt hasil metode metalurgi serbuk dari uji XRD dan uji SEM dan juga sifat mekanik menggunakan uji *vickers*. Selain itu untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi paduan kobalt terhadap ketahanan korosi menggunakan teknik potensiotat. Diharapkan dari variasi Cr menggunakan metode metalurgi serbuk dapat dihasilkan paduan kobalt terbaik sebagai material implan sehingga nanti dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan implan dalam bidang medis.

METODE PENELITIAN

Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan selama 6 bulan pada tahun 2014. Persiapan bahan, sintesis kobalt di Laboratorium Material Fisika Universitas Airlangga.

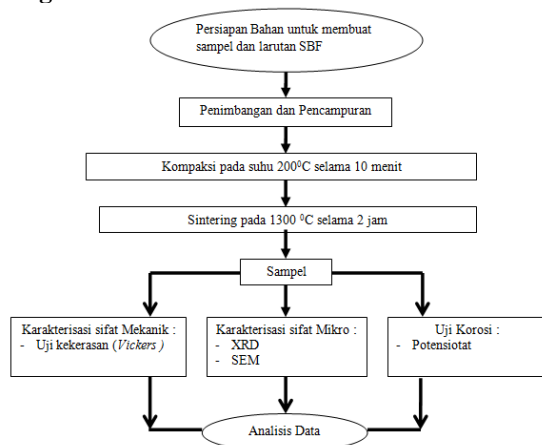
Kompaksi paduan dan uji SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Negeri Malang. Uji kekerasan (*Vickers*) dilakukan di Laboratorium Robotik ITS, uji XRD di Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS dan uji korositas di laboratorium Instrumen Kimia FMIPA ITS.

Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pembuatan sampel pada penelitian ini yaitu spatula, alumunium foil, krusibel alumina, timbangan digital, mesin hidrolik, *High Energy Milling* HEM-E3D, *furnace programable*, *dies* dan *punch*, mesin *grinder* dan amplas. Sedangkan alat yang digunakan untuk karakterisasi sampel yaitu SEM-EDX, XRD dan *Microvickers Hardness Test* untuk uji kekerasan dan potensiostat untuk uji korosi.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel pada penelitian ini yaitu serbuk kobalt, serbuk kromium, serbuk molibdenum, serbuk mangan, serbuk silikon dan serbuk Cr_2N dan bahan larutan SBF yang akan digunakan untuk uji korosi adalah NaCl, KCl, CaCl_2 , NaHCO_3 , $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Na_2SO_4 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $(\text{CH}_2\text{OH})_3\text{CNH}_2$ dan larutan HCL 1 M.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

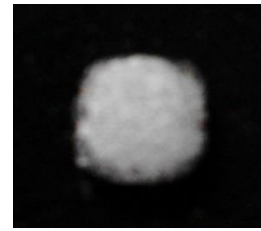
Metode

Pembuatan sampel dilakukan melalui 3 tahapan sebagai berikut, tahapan awal dilakukan dengan menimbang unsur-unsur pepadu yaitu unsur Cr, Mn, Si, N, Mo dan Co penimbangan unsur N dilakukan dengan menggunakan paduan Cr_2N dengan variasi Cr 28,5%-34,5% dengan berat keseluruhan 4g.

Tabel 1. Komposisi Unsur Paduan Kobalt

Variasi	Komposisi persen berat (%)						Total
Komposisi	Cr	Mo	Mn	Si	N	Co	
28,5%	28,5	5	0,5	0,5	0,25	65,25	100%
30,0%	30,0	5	0,5	0,5	0,25	63,75	
31,5%	31,5	5	0,5	0,5	0,25	62,25	
33,0%	33,0	5	0,5	0,5	0,25	60,75	
34,5%	34,5	5	0,5	0,5	0,25	59,25	

Tahap kedua dilakukan proses *milling* (pencampuran) bahan-bahan selama 15 menit dengan kecepatan 350 rpm. Bahan-bahan yang sudah dicampur dikompaksi dengan tekanan 339 Mpa. Tahapan akhir dari proses pembuatan sampel adalah seluruh pelet di sinter pada suhu 1300°C dalam suasana gas argon.



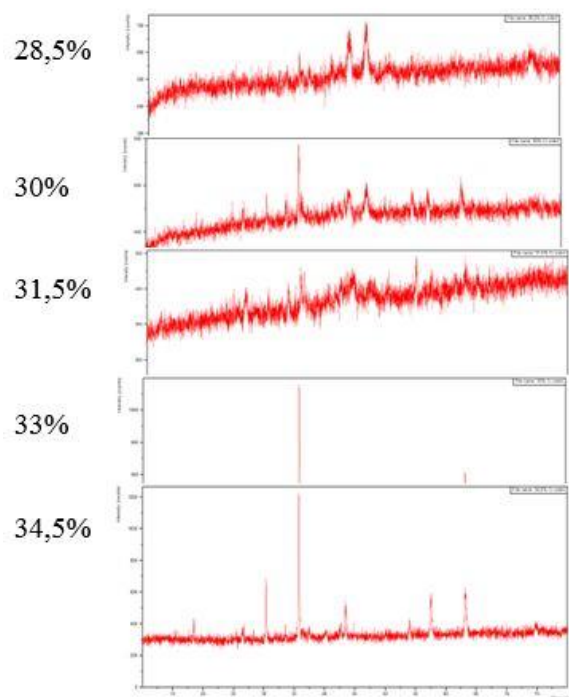
Gambar 2. Hasil Sintesis Sampel

Paduan kobalt diuji menggunakan alat difraksi Sinar-X yaitu untuk mengidentifikasi fasa. Analisis fasa dilakukan dengan mengidentifikasi fasa γ , ϵ dan σ . Kemudian dilakukan uji SEM-EDX untuk mengetahui sisa presentasi unsur setelah dilakukan perlakuan pada paduan kobalt dan untuk mengetahui morfologi struktur paduan. Selain itu dilakukan uji Vickers dan uji potensiostat yaitu untuk mengetahui kekerasan paduan kobalt dan juga ketahanannya terhadap korosi.

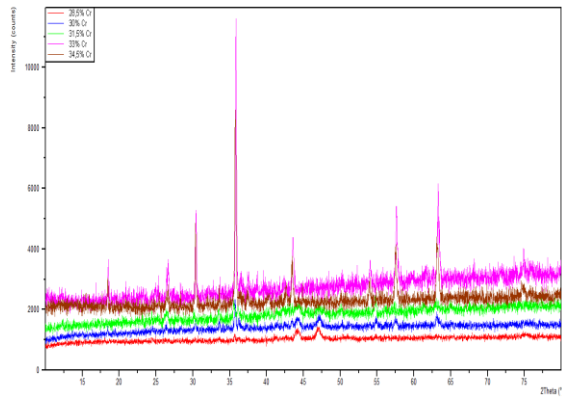
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Uji XRD (X-Ray Diffraction)

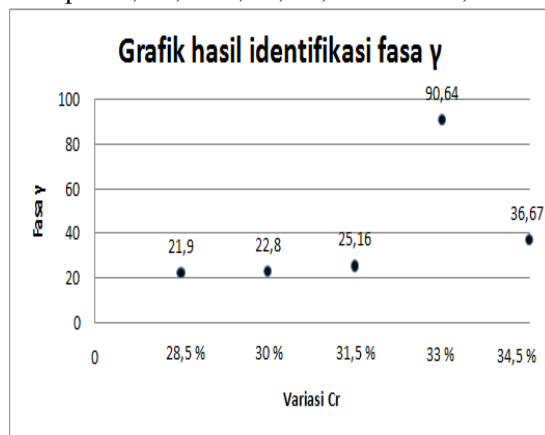
Uji XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan fasa yang terbentuk. Analisis hasil uji XRD terhadap 5 sampel pada (variasi Cr 28,5% ; 30% ; 31,5% ; 33% ; 34,5%) dilakukan secara manual karena data referensi paduan kobalt tidak tersedia.



Gambar 3. Hasil XRD paduan kobalt



Gambar 4. Kombinasi hasil XRD paduan kobalt sampel 28,5%; 30%; 31,5%; 33% dan 34,5% Cr

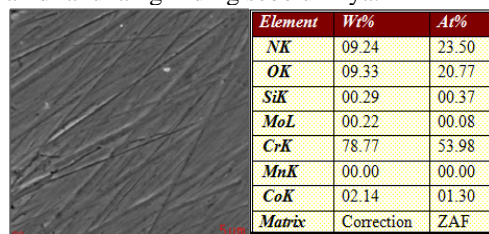


Gambar 5. Hasil Identifikasi Fasa

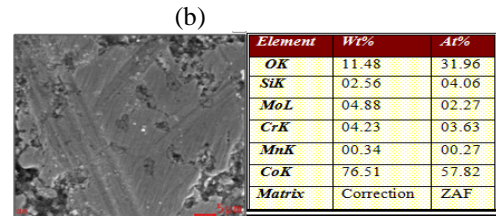
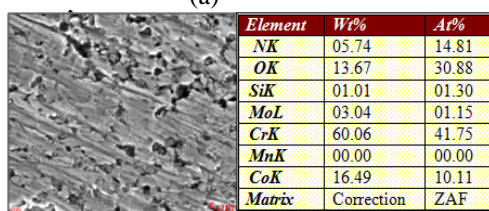
Hasil pengamatan dan analisis XRD yang ditunjukkan oleh gambar difraktogram menunjukkan kemunculan fasa γ , ϵ dan σ . Hal ini dikarenakan dalam proses pembuatan paduan ini juga dilakukan proses sintering pada suhu rekristalisasi yaitu 1300°C selama 2 jam yang menyebabkan kemunculan 3 fasa tersebut yaitu fasa γ , ϵ dan σ (rapuh) (Saktiani, 2013). Kemunculan fasa ϵ disebabkan tidak terjadinya transformasi fasa dengan sempurna dari HCP (fasa ϵ) ke FCC (fasa γ).

Hasil Uji SEM-EDX

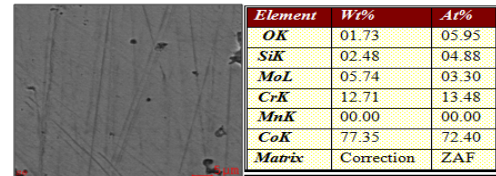
Uji SEM-EDX ini dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dari permukaan sampel dan juga untuk mengetahui unsur - unsur yang terkandung di dalam sampel paduan kobalt ini. Uji ini dilakukan pada sampel yang permukaannya datar setelah dilakukan grinding sebelumnya.



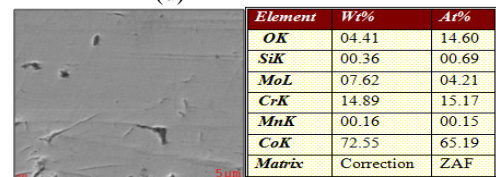
(a)



(c)



(d)



(e)

Gambar 6. Hasil SEM-EDX (a) Sampel 28,5% Cr, (b) Sampel 30% Cr, (c) Sampel 31,5% Cr, (d) Sampel 33% Cr, (e) Sampel 34,5% Cr

Hasil uji menggunakan SEM-EDX menunjukkan bahwa unsur – unsur yang terkandung di dalam sampel masih lengkap walaupun sedikit berkurang dari prosentase berat sesungguhnya.

Sampel dengan Cr lebih rendah tampak prosentase unsur yang ditampilkan dari hasil EDX kurang sesuai dengan prosentase unsur sesungguhnya, hasil menunjukkan bahwa berat unsur Cr setelah disintesis dan dilakukan grinding berbeda jauh hasilnya dengan berat unsur Cr sebelum dilakukan perlakuan. Hal ini bisa disebabkan karena unsur – unsur yang dipadukan berikatan kurang sempurna sehingga saat dilakukan proses penggrindingan pada sampel mengakibatkan sebagian unsur hilang.

Hasil Uji Kekerasan (Vickers)

Pada penelitian ini sifat mekanik yang diuji yaitu menggunakan *Microvickers – hardness* untuk menguji nilai kekerasan paduan.

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan

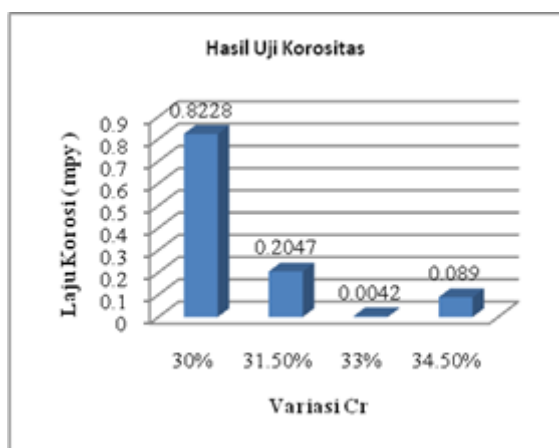
Variasi Cr (%)	Fasa γ (%)	Kekerasan (VHN)
28,5	35,21	(145,3 \pm 12,47)
30,0	35,38	(229,4 \pm 24,56)
31,5	42,36	(313,13 \pm 10,8)
33,0	90,64	(372,57 \pm 46,67)
34,5	40,88	(306,8 \pm 17,14)

Hasil uji kekerasan pada paduan kobalt sesuai tabel 2. menunjukkan pada sampel 31,5 % dan 33 % Cr memenuhi standar kekerasan yang ditoleransi di bidang medis sebagai implan tulang, namun dari hasil uji XRD dan SEM- EDX menunjukkan bahwa sampel dengan variasi komposisi 33% Cr menunjukkan hasil yang terbaik yaitu pada kekerasan (372,57 \pm 46,67) VHN. Hasil uji kekerasan sesuai tabel 2 menunjukkan bahwa

kekerasan sampel semakin meningkat dengan bertambahnya unsur kromium pada sampel. Hal ini sesuai jika dibandingkan dengan hasil identifikasi fasa uji XRD yaitu semakin meningkatnya fasa γ pada paduan cenderung semakin meningkat pula kekerasannya.

Hasil Uji Korosi

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi pada masing - masing sampel sesuai dengan standar laju korosi aplikasi medis eropa yaitu kurang dari 0,457 mpy.



Gambar 7. Grafik hasil uji korositas

Paduan kobalt yang digunakan yaitu variasi komposisi 30%; 31,5%; 33%; 34,5% Cr sedangkan pada sampel 28,5% Cr tidak digunakan karena sampel ini terlalu hitam dan lunak sehingga saat dilakukan uji korosi tidak dapat muncul hasil polarisasinya maka tidak dimasukkan dalam data uji korosi. Hasil uji korosi menunjukkan bahwa pada sampel 31,5 – 34,5 % Cr menunjukkan hasil yang sesuai dengan standar eropa, namun sesuai dengan hasil uji XRD, SEM dan vickers menunjukkan hasil terbaik pada variasi komposisi 33 % Cr. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa hasil terbaik dari uji korositas yaitu pada variasi 33% Cr. Sedangkan pada sampel 30% Cr dihasilkan sampel dengan laju korosi yang tinggi, hal ini disebabkan oleh ikatan antar logam terbentuk kurang baik sehingga densitas dari sampel kurang baik maka sampel sedikit lebih lunak dan terdapat banyak oksidasi. Maka sampel dengan variasi 30% Cr ini kurang layak jika digunakan sebagai implan tulang.

KESIMPULAN

Berdasarkan proses pengujian, pengambilan data dan analisis pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

Uji XRD menunjukkan bahwa terjadi peningkatan fasa γ seiring dengan peningkatan variasi Cr. Sedangkan dari hasil uji SEM-EDX menunjukkan bahwa semakin meningkatnya variasi Cr maka semakin kecil oksidasinya. Hasil terbaik pada uji XRD dan SEM-EDX pada sampel variasi 33% Cr. Hasil terbaik dari uji kekerasan adalah pada variasi 33% Cr yaitu ($372,57 \pm 46,67$) VHN.

Hasil uji korositas menunjukkan sampel dengan variasi 31,5-34,5% Cr memenuhi nilai standar

Eropa yaitu 1,457 mpy namun hasil terbaik terdapat pada variasi 33%Cr yaitu ($0,0042 \pm 0,0009$) mpy.

Hasil terbaik pada penelitian ini ditunjukkan pada sampel dengan variasi 33% Cr karena memiliki fasa γ yang dominan, tidak banyak terjadi oksidasi selain itu juga memiliki nilai kekerasan yang memenuhi standar kekerasan untuk implan tulang *prosthesis* yaitu sebesar ($372,57 \pm 46,67$) VHN. Nilai korositasnya pun memenuhi nilai yang ditetapkan standar Eropa yaitu ($0,0042 \pm 0,0009$) mpy.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellefontaine, George, 2010, *The Corrosion of CoCrMo Alloys for Biomedical Applications [thesis]*, School of Metallurgy and Materials University of Birmingham.
- Farynda, Mega, 2013, *Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik Paduan Kobalt Sebagai Kandidat Implan Tulang* [skripsi], Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- [Http://beningpost.com/read/2529/hip - prosthesis-untuk-implan-tulang-orang-indonesia-ditemukan](http://beningpost.com/read/2529/hip-prosthesis-untuk-implan-tulang-orang-indonesia-ditemukan) : 13/04/2012 17:18:36 WIB
- Kokubu, T., H. Kushitani, S. Sakka, T. Kitsugi dan T. Yamamuro, 1990, *Solutions Able to Produce In-vivo Surface Changes in Bioactive Glass-Ceramic A-W*, J. Biomed. Mater. Res., 24, 721-734.
- Nestor, Perez, 2004, *Electro Chemistry and Corrosion Science*, Kluwer Academic Publisher.
- Prasetyo, A, 2010, *Pengaruh Variasi Kandungan Silikon Terhadap Korosi Paduan Kobalt (ASTM F 75) Hasil Metalurgi Serbuk Dalam Larutan Artificial Blood Plasma dengan Teknik Polarisation Potensiodinamik dan Teknik Exposure* [thesis], Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Putri, Efinda, 2013, *Sintesis dan Karakterisasi Paduan Kobalt dengan Variasi Cr Melalui Metode Peleburan sebagai Material Implan* [skripsi], Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- Saktiani, Tri, 2013, *Optimalisasi Sifat Mekanik Paduan Kobalt Sebagai Implan Tulang Prosthesis Melalui Proses Sintering* [skripsi], Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- Sheng qiang Ma., Jiandong., Guofeng, 2010, *Effect of Chromium Concentration on Microstructure and Properties of Fe-3.5B Alloy*, Elsevier: 527 (2010) 6800-6808.
- Sholikah, Mar'atus, 2013, *Karakterisasi Sifat Mikro dan Mekanik Paduan Kobalt sebagai Material Implan Tulang Akibat Variasi Suhu dan Waktu Homogenisasi* [skripsi], Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya.
- Sulistioso G, Sukaryo., dkk, 2011, *Sintesis, Analisis Korosi dan Toksisitas pada material Biokompatibel CO-Cr-Mo*, Pusat Teknologi bahan Industri – Batan.

- Wiranata, Hezti, 2012, *Sintesis Paduan Kobalt dengan Variasi Kandungan Nitrogen*, FIS IPB.
- Yuswono dan Andika P, 2010, *Pembuatan Paduan Logam Co-30%Cr-6%Mo Melalui Pengerjaan Kompak dan Sinter dan Pengaruhnya Terhadap Kandungan Si*, Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI, Banten.

EFEK TEMPERATUR DAN WAKTU PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN KOMPOSIT BERPORI BERBAHAN DASAR LIMBAH KACA

Sulhadi*¹, Nur Hasanah¹, Meiriani Ismu Savitri¹, dan Mahardika Prasetya Aji¹

¹Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Negeri Semarang

Jalan Raya Sekaran Gunungpati, Semarang

*Email : sulhadipati@yahoo.com

Abstrak

Komposit berpori berbahan dasar limbah kaca telah dihasilkan dengan proses pemanasan. Komposit berpori dibuat dengan mencampurkan serbuk limbah kaca dan perekat. Pori dibentuk dengan mengatur parameter proses temperatur pemanasan yaitu 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C selama 2 jam. Disamping itu, waktu pemanasan divariasi selama 1 jam, 1.5 jam, 2 jam, 2.5 jam, 3 jam dan 3.5 jam pada temperatur pemanasan 750°C. Perubahan struktur komposit berpori akibat proses pemanasan diamati dari sifat mekaniknya yaitu kuat tekan (compressive strength). Hasil pengukuran kuat tekan teramati bahwa kuat tekan komposit berpori dari limbah kaca meningkat dengan kenaikan temperatur pemanasan dan mencapai kuat tekan optimum $\sigma = 5.21$ MPa pada temperatur pemanasan 700°C untuk komposisi serbuk limbah kaca dan perekat 80:20 persen berat dan temperatur pemanasan 650°C untuk komposisi serbuk limbah kaca dan perekat 75:25 persen berat memiliki kuat optimum $\sigma = 2.93$ MPa. Kenaikan temperatur yang lebih tinggi menyebabkan kuat tekan komposit berpori cenderung menurun. Hasil ini bersesuaian dengan kuat tekan komposit berpori dengan variasi waktu pemanasan dimana kuat tekan menurun dengan semakin meningkatnya waktu pemanasan. Tempertur pemanasan yang semakin tinggi dan waktu pemanasan yang semakin lama menyebabkan bulir-bulir dari serbuk kaca meleleh dan membentuk kaca kembali sehingga kuat tekannya menurun. Perubahan kuat tekan akibat perubahan struktur komposit berpori dari limbah kaca dapat menjadi pinjakan untuk mendaur ulang dan memanfaatkan limbah kaca menjadi produk yang bernilai guna.

Kata kunci : limbah, kaca, komposit.

PENDAHULUAN

Kaca-kaca bekas tergolong dalam jenis limbah anorganik yang belum memiliki teknologi untuk mendaur ulangnya. Proses daur ulang bertujuan untuk mengembalikan limbah kaca ke alam secara aman atau mengolahnya kembali menjadi produk yang berdaya guna. Kaca-kaca bekas yang sudah tidak terpakai lagi merupakan limbah yang tidak akan terurai secara alamiah oleh pengurai organik sehingga proses daur ulangnya dapat dilakukan dengan mengolah kembali produk keramik modern ini menjadi produk yang bernilai guna.

Potensi daur ulang limbah kaca telah dikaji oleh Aji et al (2012) yang mengolah limbah kaca menjadi produk komposit yang memiliki kuat yang cukup tinggi yaitu 36 MPa. Disamping itu, komposit dari limbah kaca ini memiliki pori dengan porositas pada kisaran 1% hingga 5%. Kehadiran pori pada komposit dari limbah kaca memberikan potensi pada penggunaan komposit berpori dari limbah kaca dengan fungsional baru sebagai filter. Kaca memiliki daya absorpsi rendah sehingga proses filtrasi hanya bergantung pada ukuran pori pada komposit. Hal ini yang menjadi landasan penting untuk memanfaatkan limbah kaca untuk komposit berpori (Sulhadi et al, 2014).

Kaca berpori telah dikembangkan dalam beragam aplikasi penting seperti bahan insulator, membran pemisah, filter dan beberapa perangkat optoelektronik (Majid et al, 2012; Park, 2008; Vogel et al, 2000). Sulhadi et al (2014) telah mengembangkan komposit berpori dari limbah kaca untuk filter air. Pori dalam komposit terbentuk dengan mengatur parameter tempertur dan waktu pemanasan. Perubahan struktur komposit akibat pemanasan teramati dari porositas dan permeabilitas dimana dua parameter ini memiliki kesesuaian hasil. Semakin tinggi temperatur dan

meningkatnya waktu pemanasan menyebabkan porositas dan permeabilitas komposit menurun.

Disamping parameter porositas dan permeabilitas, sifat mekanik dari medium berpori yang digunakan untuk filter sangat penting untuk dikaji karena dalam proses filtrasi diperlukan medium berpori yang memiliki kuat tekan yang baik. Proses filtrasi memerlukan beda tekanan untuk dapat mengalirkan fluida melalui medium berpori. Komposit berpori dengan kuat tekanan yang baik menjadi syarat pengembangan komposit sebagai filter. Dengan demikian, kuat tekan komposit berpori dari limbah kaca menjadi fokus penting untuk dikaji.

METODE

Limbah kaca yang diperoleh dari lingkungan dicuci untuk memisahkan partikel-partikel pengotor seperti debu. Pada tahap selanjutnya, limbah kaca digiling dengan perangkat *ball milling* dan *grinder* hingga dihasilkan serbuk-serbuk kaca. Serbuk kaca disaring untuk memperoleh serbuk dengan ukuran yang homogeny. Serbuk inilah yang menjadi bahan dasar pembuatan komposit. Serbuk kaca dipadukan polimer jenis poli(vinil) asetat PVAc sebagai perekat. Polimer PVAc dipilih karena temperatur lelehnya yang sangat rendah. Paduan serbuk kaca dan perekat PVAc dicetak dengan perangkat *hydraulic press* dengan tekanan 5 metrik.ton. Proses selanjutnya adalah pemanasan komposit limbah kaca yang telah dicetak. Pada tahap ini temperatur pemanasan divariasikan pada rentang 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C dan 850°C. Disamping itu, waktu pemanasan divariasi selama 1 jam, 1.5 jam, 2 jam, 2.5 jam, 3 jam dan 3.5 jam pada temperatur pemanasan 750°C. Porositas sampel diestimasi dengan pendekatan sederhana berupa selisih

densitas. Sedangkan uji sifat mekanik berupa uji kuat tekan dilakukan dengan perangkat *compression machine* di Laboratorim Teknik Sipil UNNES.

HASIL DAN PEMBAHASAN





Perubahan struktur komposit dari limbah kaca akibat proses pemanasan teramati dari perubahan kerapatan (densitas) dengan variasi temperatur pemanasan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Densitas teramati meningkat dengan kenaikan temperatur hingga mencapai kondisi optimum dan cenderung turun pada temperatur yang lebih tinggi.

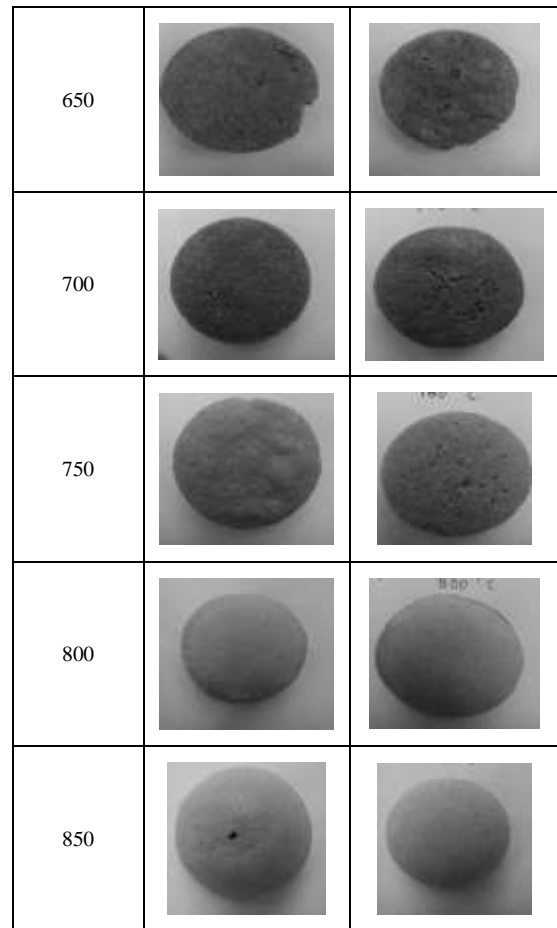
TABEL 1. Distribusi Nilai Densitas dengan Variasi Temperatur

Temperatur (°C)	Densitas (g/cm ³)	
	Komposisi 80:20	Komposisi 75:25
550	0.99	1.12
600	1.45	1.20
650	1.45	1.42
700	1.95	1.37
750	0.90	1.22
800	0.39	0.49
850	0.28	0.44

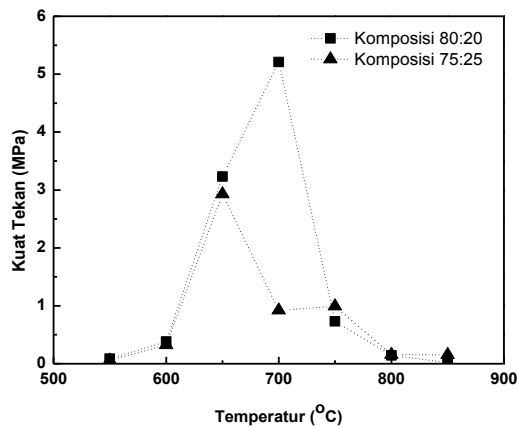
Perubahan densitas komposit akibat pemanasan sangat dipengaruhi proses melelehnya (*melting process*) serbuk kaca pada komposit. Kenaikan temperatur menyebabkan serbuk-serbuk kaca semakin mudah meleleh dan membentuk satu kesatuan diantara bulir-bulir kaca. Proses ini yang menyebabkan densitas komposit meningkat dengan kenaikan temperatur pemanasan. Namun pada temperatur 750°C untuk komposisi 80:20 dan temperatur 700°C untuk komposisi 75:25, densitas komposit cenderung menurun. Kondisi ini disebabkan terbentuknya rongga pada komposit, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Dengan kenaikan temperatur, rongga yang terbentuk semakin besar sehingga densitas komposit teramati cenderung menurun. Terbentuknya rongga diduga akibat tekanan saat proses cetak komposit dilakukan dengan parameter tekanan yang cukup rendah, yaitu ~1 ton. Hal ini yang menyebabkan daya ikat diantara bulir-bulir kaca cukup rendah sehingga panas yang menyebabkan bulir-bulir kaca meleleh dan uap panas yang dihasilkan terperangkap dan membentuk rongga pada komposit.

TABEL 2. Komposit berpori dari limbah kaca

Temperatur (°C)	Densitas (g/cm ³)	
	Komposisi 80:20	Komposisi 75:25
550		
600		

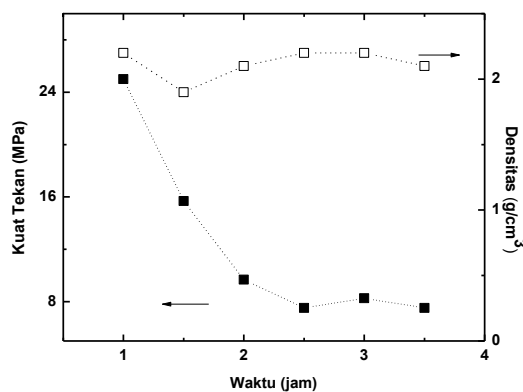


Distribusi kuat tekan komposit untuk komposisi 80:20 dan 75:25 ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pengukuran kuat tekan komposit bersesuaian dengan hasil pengukuran densitas komposit dimana kuat tekan meningkat dengan kenaikan temperatur hingga mencapai kondisi optimum dan kemudian kuat tekan cenderung menurun dengan temperatur pemanasan yang lebih tinggi. Perubahan struktur komposit akibat proses pemanasan mempengaruhi sifat mekanik komposit. Perbedaan komposisi komposit menyebabkan kuat tekan optimum yang berbeda. Untuk komposisi 80:20, kuat tekan optimum pada temperatur pemanasan 700°C. Sedangkan untuk komposisi 75:25, kuat tekan optimum pada temperatur pemanasan 650°C. Perbedaan hasil ini dapat dipahami dengan mudah berdasarkan jumlah fraksi serbuk kaca dalam komposit. Dengan jumlah fraksi serbuk kaca yang lebih banyak, proses pemanasan pada komposisi 80:20 memerlukan temperatur yang lebih tinggi untuk mencapai kondisi dimana bulir-bulir kaca meleleh dan membentuk komposit dengan kuat tekan yang optimum.



Gambar 1. Kuat tekan komposit dengan variasi temperatur pemanasan.

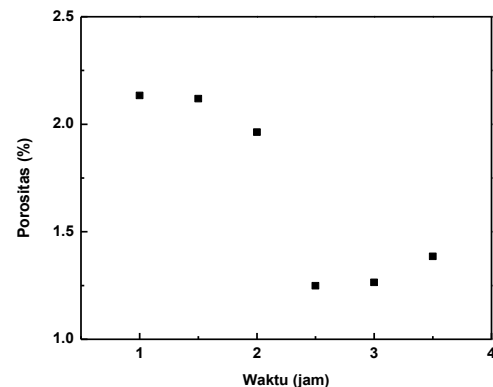
Disamping temperatur, waktu pemanasan menjadi salah satu parameter yang penting dalam proses pembentukan pori dalam komposit. Distribusi kuat tekan komposit yang dihasilkan dengan proses pemanasan pada temperatur $T=750^{\circ}\text{C}$ dan selang waktu pemanasan 1 jam, 1.5 jam, 2 jam, 2.5 jam dan 3 jam ditunjukkan pada Gambar 2. Kuat tekan komposit menurun dengan meningkatnya waktu pemanasan. Hasil ini mengindikasikan bahwa dengan meningkatnya waktu pemanasan, bulir-bulir serbuk kaca semakin meleleh hingga cenderung membentuk kaca kembali dan menyebabkan kuat tekannya menurun. Namun, densitas komposit relatif tetap. Hal ini dikarenakan komposit ini dicetak dengan *hydraulic press* dengan tekanan yang lebih tinggi yaitu 5 metrik ton. Kondisi berbeda dari yang telah diperoleh sebelumnya sehingga komposit yang dihasilkan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kuat tekan dan densitas komposit dengan variasi waktu pemanasan.

Hasil pengukuran kuat tekan komposit bersesuaian dengan hasil pengukuran porositas dimana porositas menurun seiring dengan meningkatnya waktu pemanasan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Jumlah pori menurun akibat proses pemanasan dikarenakan bulir-bulir kaca telah meleleh sehingga bulir membentuk satu kesatuan dan membentuk kaca kembali. Data pengamatan porositas yang beragam ini menunjukkan bahwa rekayasa pori telah berhasil dilakukan dengan memvariasi waktu

pemanasan. Hasil ini menjadi salah satu kontribusi penting yang diperoleh untuk dasar mendaur ulang limbah kaca.



Gambar 3. Porositas komposit dengan variasi waktu pemanasan.

KESIMPULAN

Proses pemanasan pada komposit berpori dari limbah kaca menyebabkan perubahan kuat tekan komposit. Variasi temperatur dan waktu pemanasan menyebabkan perubahan struktur komposit yaitu perubahan densitas dan porositas. Proses pemanasan dengan temperatur yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama menyebabkan kuat tekan komposit semakin menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Diknas Provinsi Jawa Tengah yang telah mendukung penelitian ini dalam Program Fasilitasi Perguruan Tinggi Penelitian Terapan Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- M.P. Aji (2012), Komparasi Kuat Tekan Komposit Berbahan Dasar Serbuk Limbah Kaca dengan Perakat Polimer Polyurethane Dan Polyvinyl Acetate, Jurnal MIPA, Vol 35, Issue 2, 140-144.
- Sulhadi, M.I. Savitri, M.A.N. Said, I. Muklisin, R.Wicaksono dan M.P. Aji (2014), Fabrication of Mesoporous Composite from Waste Glass and Its Use as a Water Filter, AIP Conference Proceedings, Vol. 1586, 139-142.
- S. Majid, K.F. Sultani dan H. Mohammed (2012), Preparation of Alkali Lead Glass and Glass – Ceramic Compositions as Electrical Insulators, Research Journal of Chemical Sciences, Vol. 2, Issue 2, 28-34.
- J. Park (2008), Development of A Glass-Ceramic For Biomedical Applications, Disertasi Middle East Technical University.
- J. Vogel dan C. Russel C. (2000), Open-Pore Glasses and Glass-Ceramics by Sintering of Modified Pyrogenic Silicic Acids, Ceramics – Silikáty, Vol. 44, Issue 1, 9-13.

EFEK PENAMBAHAN *CALCIUM FLUORIDE* (CaF_2) TERHADAP KARAKTERISTIK SEMEN GIGI NANO *ZINC OXIDE EUGENOL* (ZOE) DAN *ALUMINIUM OXIDE* (Al_2O_3)

Triyas Marweni^{1*}, Siswanto¹, Djony Izzak¹

¹ Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

*Email : triyasmrwn@gmail.com

Abstrak

Salah satu masalah kerusakan gigi yang sering dialami yaitu gigi berlubang. Penanggulangannya dapat melalui penambalan gigi atau restorasi gigi dengan menggunakan semen zinc oxide eugenol (ZOE). Penambahan aluminium oxide dan calcium fluoride untuk meningkatkan sifat mekanik dari semen gigi ZOE. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek penambahan calcium fluoride (CaF_2) terhadap karakteristik mikroskopik dan makroskopik semen gigi nano zinc oxide eugenol (ZnO) dan aluminium oxide (Al_2O_3). Pembuatan sampel dilakukan dengan mencampurkan bubuk ZnO, Al_2O_3 dan CaF_2 dengan variasi penambahan komposisi CaF_2 meliputi 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Proses pencampuran dilakukan dengan HEM selama 1 jam kemudian disintering pada suhu 1000°C dengan penahanan suhu selama 1 jam. Bubuk semen hasil sintering selanjutnya dicampur kedalam cairan eugenol dengan perbandingan bubuk (gr) dan cairan (ml) adalah 7:1 hingga membentuk pasta. Pasta hasil campuran dicetak berbentuk pelet dengan diameter 8mm. Hasil cetakan semen gigi kemudian dilakukan karakterisasi mikroskopik (SEM) dan makroskopik yang meliputi uji kekerasan, kuat tekan dan antibakteri. Hasil SEM terbaik yaitu pada penambahan 4% CaF_2 terlihat dari struktur morfologinya yang halus. Hasil uji kekerasan didapat nilai tertinggi sebesar $(4,73 \pm 0,21)$ VHN, uji kuat tekan tertinggi sebesar $(14,626 \pm 0,045)$ MPa, dan uji antibakteri tertinggi sebesar $(26,362 \pm 0,05)$ mm. Berdasarkan dari hasil karakteristik, CaF_2 dapat memperbaiki mikrostruktur dan meningkatkan sifat fisis, namun perlu dilakukan optimasi pada variasi komposisi CaF_2 dan suhu sintering untuk memperoleh semen gigi yang memiliki karakteristik mikroskopik dan makroskopik yang baik.

Kata kunci : zinc oxide eugenol, aluminium fluoride, calcium fluoride

PENDAHULUAN

Di Indonesia masalah kerusakan gigi adalah masalah yang serius. Menurut data Risesdas 2007, 75% penduduk Indonesia mengalami riwayat karies gigi dengan tingkat keparahan gigi (indeks DSF-T) sebesar 5 gigi setiap orang (DepKes R.I, 2011). Salah satu faktor penyebab kerusakan gigi adalah gigi berlubang. Salah satu cara penanggulangan gigi berlubang yaitu melalui penambalan gigi.

Penambalan gigi biasanya menggunakan semen gigi. Semen gigi haruslah bersifat bakteriostatik dan tidak mudah larut dalam saliva (Abdillah dkk, 2011). Semen gigi yang sering digunakan untuk penambalan yaitu *zinc oxide and eugenol cement* (ZOE) karena memiliki keunggulan antara lain dapat mengurangi rasa nyeri pada pulpa gigi, mempunyai sifat antiseptik, dapat beradaptasi dengan baik pada kavitas. Selain itu *zinc oxide and eugenol* (ZOE) merupakan salah satu bahan yang tidak mengiritasi dan merupakan bahan penutup yang istimewa terhadap kebocoran gigi (Anusavice, 2003).

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk memperbaiki performansi bahan *zinc oxide and eugenol* (ZOE). Alwiyah (2013) telah melakukan penelitian semen gigi dengan menggunakan bahan *zinc oxide and eugenol* (ZOE) dan *Aluminium Oxide* (Al_2O_3). Penggunaan *Aluminium Oxide* (Al_2O_3) yaitu untuk meningkatkan kekuatan mekanik semen gigi. Selain itu sifat alumina yang mudah dalam fabrikasi, ketahanan korosi yang baik, ketahanan pemakaian yang cukup lama, bionert dan biokompatibilitas yang baik serta memenuhi unsur estetika yang ada pada gigi tiruan (Mishra, 2012).

Zinc oxide and eugenol - Aluminium Oxide ($\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$) membutuhkan suhu sintering yang tinggi, oleh karena itu dibutuhkan bahan yang berfungsi untuk menurunkan titik lebur, misalnya *Calcium fluoride* (CaF_2). *Calcium fluoride* (CaF_2) tidak dapat digunakan sebagai bahan aditif jika disintering pada suhu ($>1900^\circ\text{C}$) karena *Calcium fluoride* (CaF_2) volatile di atas suhu 1600°C (Lee, 2009). Penambahan

Calcium fluoride (CaF_2) ini diharapkan akan memperbaiki mikrostruktur dan meningkatkan sifat fisis.

Untuk memperoleh hasil yang baik diperlukan suhu sintering dan variasi komposisi masing-masing bahan yang tepat. Pada penelitian ini suhu yang diberikan yaitu didasarkan pada titik lebur *Zinc Oxide eugenol* (ZnO) dan *Aluminium oxide* (Al_2O_3) yaitu 60-80% yaitu pada suhu 1000°C . Penambahan aditif *Calcium fluoride* (CaF_2) pada semen gigi tidaklah boleh dari 10-15%, sehingga variasi *Calcium fluoride* (CaF_2) yang diberikan yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%.

Perbedaan pemberian komposisi *Calcium fluoride* (CaF_2) ini diharapkan peneliti mendapatkan hasil mikrostruktur dan makrostruktur yang sesuai untuk penambalan gigi berlubang.

METODE PENELITIAN

Ada beberapa tahap dalam penelitian ini meliputi penyiapan bubuk semen gigi, pembuatan sampel semen gigi dan karakterisasi mikroskopik dan makroskopik terhadap sampel semen gigi.

Penyiapan bubuk semen gigi

Bubuk semen yang terdiri dari zinc oxide (ZnO), aluminium oxide (Al_2O_3), dan calcium fluoride (CaF_2) ditimbang sesuai dengan rasio yang telah ditentukan (pada Tabel 1). Setelah itu bubuk zinc oxide (ZnO), aluminium oxide (Al_2O_3), dan calcium fluoride (CaF_2) dicampur dengan high energy milling (HEM) selama 1 jam. Pencampuran ini bertujuan agar didapat bubuk semen gigi yang homogen.

Setelah bubuk tercampur rata, kemudian bubuk semen gigi disintering pada suhu 1000°C selama 1 jam. Proses sintering yang dilakukan bertujuan untuk mengikat butiran-butiran bubuk pada bahan semen gigi dan dapat menurunkan porositas sehingga didapatkan produk yang kuat sesuai spesifikasi yang diinginkan (Nugroho, 2007).

Selanjutnya bubuk semen gigi digerus hingga halus karena pada saat sintering terjadi penggumpalan pada bubuk akibat penggabungan butiran.

Tabel 1. Komposisi Sampel

Jenis Sampel	Komposisi (%) ZnO : Al ₂ O ₃ : CaF ₂	Keterangan
A	70 : 30 : 0	Pencampuran dengan cairan eugenol
B	70 : 28 : 2	
C	70 : 26 : 4	
D	70 : 24 : 6	
E	70 : 22 : 8	

Pembuatan Sampel Semen Gigi

Pembuatan sampel semen gigi dilakukan dengan cara mencampurkan bubuk semen gigi zinc oxide (ZnO), aluminium oxide (Al₂O₃), dan calcium fluoride (CaF₂) dengan cairan eugenol. Perbandingan antara bubuk semen gigi dan cairan eugenol adalah 7:1 (Richard, 2011). Pencampuran dilakukan dengan cara mengaduk bubuk dengan cairan menggunakan spatula di atas kaca slab secara manual searah dengan jarum jam hingga berubah menjadi pasta. Kemudian pasta semen gigi dicetak berbentuk pellet dengan diameter 8 mm yang nantinya akan dilakukan karakterisasi.

Karakterisasi Sampel

Karakterisasi yang dilakukan yaitu karakterisasi mikroskopik (Scanning Electron Microscopy (SEM)) dan karakterisasi makroskopik (Kekerasan, Kuat Tekan dan Antibakteri) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan calcium fluoride (CaF₂) pada semen gigi zinc oxide (ZnO) dan aluminium oxide (Al₂O₃).

Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui struktur mikro permukaan dari sampel semen gigi. Alat SEM yang digunakan yaitu tipe INSPECT S50. Sebelum dilakukan karakterisasi sampel terlebih dahulu melalui proses coating. Kemudian sampel dimasukkan kedalam specimen chamber untuk disinari elektron. Elektron yang dipancarkan pada sampel akan dipantulkan akan dideteksi oleh detector dan kemudian diolah serta ditampilkan pada layar CRT (Cathode Ray Tube).

Pengujian kekerasan (Hardness) dilakukan dengan metode Vickers. Hardness diartikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk menerima tekanan benda keras (Combe, 1992). Prinsipnya pemberian beban pada permukaan sampel menggunakan intan piramid. Nilai kekerasan semen gigi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$VHN = \frac{1,8544}{D^2} P \quad (1)$$

Dimana VHN adalah bilangan kekerasan Vickers (kgf/mm² atau MPa), P adalah beban atau gaya (kgf), D adalah diagonal rata-rata (mm) $D = \frac{d_1 + d_2}{2}$

Pengujian kuat tekan (Compressive strength) dapat menggunakan autograph. Compressive strength diartikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya (Isabella S, 2010). Prinsipnya memberikan gaya atau penekanan pada permukaan sampel hingga sampel

mengalami fraktur (hancur). Nilai dari kekuatan tekan (compressive strength) dapat diperoleh dari persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Dimana σ adalah kuat tekan (MPa), F adalah besarnya gaya yang diterima sampel (N) dan A adalah luas permukaan sampel (mm).

Pengujian antibakteri dilakukan untuk mengetahui sifat antibakteri suatu bahan secara langsung terhadap struktur sel (Rachadini, 2007). Bakteri yang digunakan adalah Streptococcus mutans karena bakteri ini sesuai dengan suasana rongga mulut (Rochyani, 2007). Uji antibakteri dilakukan dengan metode difusi (sumuran), yaitu membuat lubang pada agar padat yang telah di inokulasi bakteri. Sifat antibakteri dapat dilakukan dengan mengukur diameter zona bening (clear zone) pada sampel yang ditanam pada sumur, dimana zona bening ini merupakan petunjuk adanya respon penghambatan pertumbuhan bakteri oleh suatu senyawa antibakteri. Untuk mengetahui nilai zona bening dapat menggunakan persamaan:

$$\text{Zona bening} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (3)$$

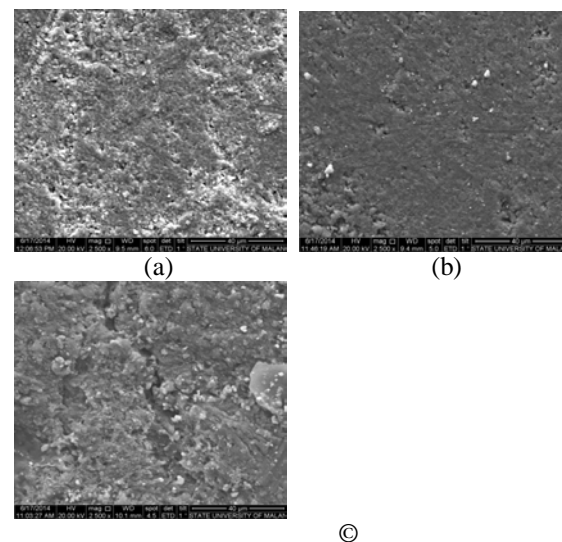
Dimana d_1 (diameter titik pertama) dan d_2 (diameter titik kedua).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Mikroskopik

Analisis SEM

Gambar 2 menunjukkan struktur mikro dari masing-masing sampel semen gigi dengan penambahan variasi CaF₂.



Gambar 2. Hasil Karakterisasi SEM Semen Gigi ZOE dengan (a) Tanpa penambahan CaF₂; (b) Penambahan CaF₂ 4% dan (c) Penambahan CaF₂ 8%

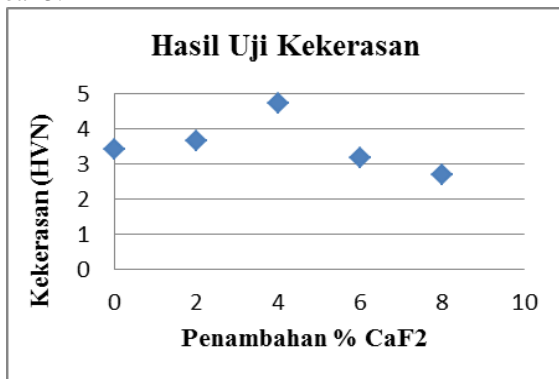
Dari hasil analisa (Gambar 2) menunjukkan bahwa dari proses sintering dan milling yang dilakukan mempengaruhi homogenisasi bahan pada sampel. Dari gambar menunjukkan seiring bertambahnya variasi komposisi CaF₂ yang diberikan pada semen gigi mempengaruhi juga struktur morfologi sampel semen gigi.

Pada penambahan 4% CaF_2 (gambar 2 b) terlihat struktur permukaan yang lebih halus dan berkurangnya pori dibanding dengan sampel yang tanpa dan 8% penambahan CaF_2 (Gambar 2a dan 2c). Permukaan sampel yang kasar dan masih terdapat pori diakibatkan pada proses sintering tidak terjadi proses difusi secara sempurna pada sampel. Permukaan yang kasar pada sampel diakibatkan karena partikel antar atom saling menggumpal hal ini dikarenakan adanya efek jenuh untuk penambahan CaF_2 yang terlalu banyak (gambar 2c). Gumpalan yang terdapat pada sampel dan adanya pori ini juga menyebabkan menurunnya sifat mekanik semen gigi.

Hasil Karakterisasi Makroskopik

Hasil Uji Kekerasan

Hasil perhitungan nilai kekerasan (*Vickers*) dari semen gigi dengan variasi komposisi CaF_2 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara variasi penambahan komposisi CaF_2 terhadap nilai kekerasan

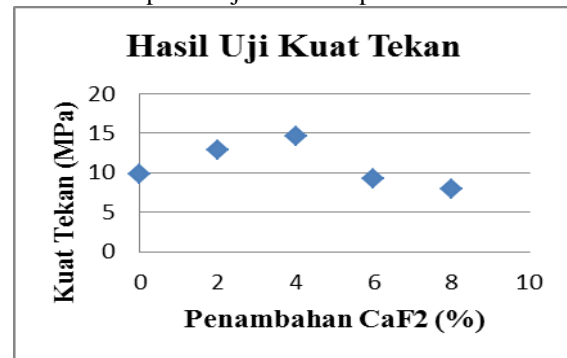
Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kekerasan semakin meningkat seiring bertambahnya komposisi CaF_2 pada sampel semen gigi *zinc oxide eugenol*. Nilai kekerasan sampel semen gigi mengalami penurunan pada penambahan 6% CaF_2 , hal ini disebabkan karena pada sampel masih terdapat pori dan adanya penggumpalan akibat proses difusi yang tidak sempurna. Penggumpalan ini terjadi karena pada sampel semen gigi terdapat titik jenuh saat ditambahkan zat aditif (Fauziati R, 2010). Nilai kekerasan tertinggi diperoleh dengan penambahan 4% CaF_2 yaitu sebesar $(4,73 \pm 0,21)$ HVN.

Hasil Uji Kuat Tekan

Nilai kekerasan suatu benda sebanding dengan nilai kuat tekan suatu benda. Hasil perhitungan uji kuat tekan (*Compressive strength*) dengan variasi penambahan CaF_2 dapat dilihat pada Gambar 4.

Variasi penambahan CaF_2 pada semen gigi mempengaruhi nilai kuat tekan semen gigi. Nilai kuat tekan optimum diperoleh sampel dengan penambahan 4% CaF_2 sebesar $(14,626 \pm 0,045)$ MPa. Grafik pada Gambar 4 menunjukkan penurunan setelah penambahan 6% CaF_2 . Hal ini diakibatkan pada sampel yang terdapat porositas dan penggumpalan. Penggumpalan dan porositas ini disebabkan pada proses sintering CaF_2 tidak seluruhnya menempati ruang kosong pada badan keramik sehingga menyebabkan sifat

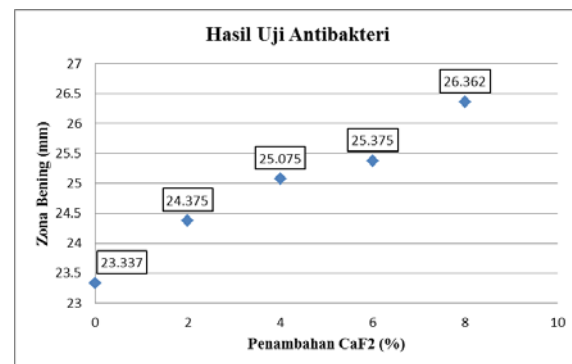
mekanik semen gigi menurun. Nilai kuat tekan yang diperoleh pada sampel memenuhi nilai literature nilai kuat tekan untuk semen gigi ZOE berkisar antara 6-30 MPa. Namun nilai yang didapat masih cukup rendah dibandingkan nilai kuat tekan semen gigi yang lain. Adanya porositas dan penggumpalan pada struktur sampel menjadi lebih rapuh.



Gambar 4. Grafik hubungan variasi penambahan komposisi CaF_2 terhadap nilai kuat tekan.

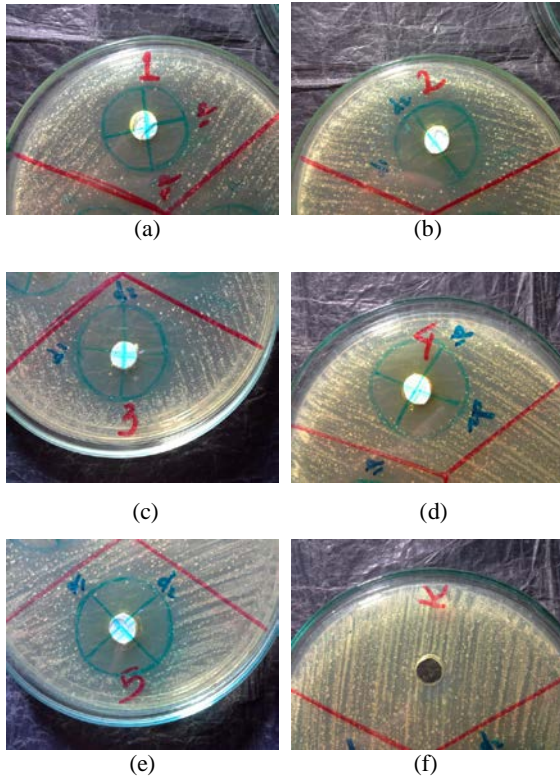
Hasil Uji Antibakteri

Hasil pengukuran zona bening untuk mengetahui sifat antibakteri dari semen gigi dengan variasi komposisi CaF_2 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara variasi penambahan CaF_2 terhadap sifat antibakteri

Variasi penambahan CaF_2 pada semen gigi ZnO dan Al_2O_3 memiliki sifat antibakteri yang diperlihatkan dengan adanya zona bening pada sampel (ditunjukkan pada Gambar 6). Pada Gambar 5 menunjukkan sifat antibakteri maksimum yaitu pada sampel 5 dengan komposisi penambahan 8% CaF_2 yang ditunjukkan dengan nilai zona bening sebesar $(26,362 \pm 0,05)$ mm.



Gambar 4.4 Daerah Zona Bening semen gigi ZnO, Al_2O_3 dengan variasi penambahan CaF_2 , (a) Tanpa Penambahan CaF_2 ; (b) Penambahan 2% CaF_2 ; (c) Penambahan 4% CaF_2 ; (d) Penambahan 6% CaF_2 ; (e) Penambahan 8% CaF_2 dan (f) control

Bertambahnya nilai zona bening yang terbentuk pada sampel diakibatkan adanya zat *fluoride* yang terkandung dalam CaF_2 . Zona bening merupakan indikator penghambatan aktivitas bakteri dengan material semen gigi. Zona bening timbul karena adanya *direct contact* antara sampel semen gigi dengan media agar tempat kembang biak bakteri. Kontak yang terjadi mengakibatkan bakteri tidak dapat berkembang biak di sekitar sampel karena adanya zat *fluoride* tersebut. *Fluoride* mampu menghancurkan bakteri mulut yaitu *Streptococcus mutans*.

KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian penelitian dan analisis mengenai penambahan variasi komposisi CaF_2 terhadap semen gigi ZOE dan Al_2O_3 diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Penambahan komposisi CaF_2 pada semen gigi ZOE dan Al_2O_3 terdapat perubahan struktur mikroskopik yang terjadi pada sampel. Hal ini ditunjukkan dengan struktur permukaan yang lebih halus pada struktur morfologi sampel yaitu pada sampel dengan penambahan 4% CaF_2 .
2. Penambahan CaF_2 pada semen gigi ZOE dan Al_2O_3 mempengaruhi sifat makroskopik. Nilai kekerasan dan kuat tekan terbaik dimiliki oleh sampel dengan penambahan 4% CaF_2 secara berturut-turut nilainya ($4,73 \pm 0,21$) VHN dan ($14,626 \pm 0,045$) MPa.
3. Penambahan CaF_2 juga mempengaruhi sifat anti bakteri semen gigi ZOE dan Al_2O_3 . Hal ini ditunjukkan dengan seiring bertambahnya penambahan variasi komposisi CaF_2

semakin besar pula zona bening yang terbentuk pada sampel. Zona bening terbesar dimiliki oleh sampel dengan penambahan 8% CaF_2 yaitu sebesar ($26,362 \pm 0,05$) mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada para pembimbing dan para laboran yang telah membantu penulis sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Moh eza dkk, 2011, Laporan Tutorial Skenario III Blok Bahan dan Teknologi Kedokteran Gigi II Semen Kedokteran Gigi, Universitas Jember: Jember.
- Alwiyah, . 2013. Pengaruh Variasi Magnesium Oxide (MgO) Terhadap Karakterisasi Semen Gigi modifikasi Nano Zinc Oxide Eugeno; (ZOE). Surabaya: Universitas Airlangga
- Anusavice, J.K..2003. Philips: Buku Ajar Ilmu Bahan Kedokteran Gigi, Alih Bahasa: Johan Arif Budiman dan Susi Purwoko. Jakarta: E.GC.
- Combe, E.C., 1992, Notes and Dental Materials, 6 th edition Churchill Livingstone, Eidenburgh: London.
- DepKes, R.I., 2011, <http://www.depkes.go.id> diakses pada 12 September 2011.
- Isabella S, Agustiani., 2010, Pembuatan dan Karakterisasi Keramik Berpori dari Campuran Zeloit dan Bahan Aditif Sekam Padi dengan Perekat Polivinylalcohol (PVA), Sumatera: Universitas Sumatera Utara (USU).
- Lee, Hyeon_Keun. 2009. Defect Characterization Of High Thermal Conductivity CaF_2 Doped AlN Ceramics By Raman Spectroscopy. Department of Material Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST),
- Mishra, Ansuman. 2012. Gelcasting Of Porous Alumina For Particulate Filtering. Bachelor of Technology thesis.
- Nugroho, Dr. Pramono, 2007, Pembuatan Semen Tambal Gigi dengan Bahan Dasar Polimer, LIPI: Bandung.
- Richard, G. M. Brauer., 2011, Aluminium Oxide as a Reinforcing for Zinc Oxide-Eugenol-o-Ethoxybenzoic Acid Cements, Dental Research Section, National Bureau of Standards and Army Institute of Dental Research, Walter Reed Army Medical Center: Washington DC.
- Rachadini, N., 2007, Uji Sitotoksitas Ekstrak Serbuk Kayu Siwah (Salvadora persica) Pada Kultur Sel dengan Menggunakan Essei MTT, Skripsi Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Airlangga: Surabaya.
- Rochyani, Linda., 2007, Daya Anti Bakteri Bahan Tumpatan Sementara Zinc Oxide Eugenol, Universitas Hangtuah: Surabaya.

SINTESIS NANOHIKROSIAPATIT DARI TULANG SOTONG (*SEPIA SP.*) DENGAN METODE MILLING DAN KARAKTERISASI SECARA *IN VITRO* SEBAGAI BAHAN IMPLAN TULANG (BONE REPAIR)

Zulifah I.N¹, Aminatun¹, Siswanto¹

¹Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

Email : zulifah-i-n-10@fst.unair.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan sintesis nanohidroksiapatit dari tulang sotong (*Sepia sp.*) dengan metode milling dan karakterisasinya secara *in vitro* sebagai bahan implan tulang (bone repair). Metode milling yang dilakukan menggunakan High Energy Milling (HEM). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan milling terhadap sifat mikroskopik dan sifat mekanik nanohidroksiapatit melalui uji XRD, TEM, dan uji kuat tekan (compressive strength test) dihasilkan nanohidroksiapatit yang sesuai dengan standar aplikasi implan tulang. Hidroksiapatit yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 1M CaCO_3 yang berasal dari aragonit hasil ekstraksi lamella tulang sotong (*Sepia sp.*) dan 0,6 M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ yang diproses secara hidrotermal pada suhu 200°C selama 12 jam kemudian disinter pada suhu 900°C selama 1 jam. Parameter milling yang digunakan adalah variasi rasio massa serbuk hidroksiapatit dengan massa bola milling sebesar 1 : 10 dan 1 : 20 yang akan dimilling selama 3 jam bersama bola milling berbahan dasar alumina dengan kecepatan putar 350 rpm. Peningkatan rasio massa menyebabkan penurunan ukuran cluster hidroksiapatit. Perlakuan sintering ulang pada sampel membuat aglomerasi yang terjadi semakin besar. Hal ini mengakibatkan ukuran partikel yang terdeteksi alat uji menjadi lebih besar dengan ditunjukkan hasil gambar dari uji perangkat dimana seluruh partikel saling tumpang tindih. Berdasarkan hasil uji perangkat TEM pada waktu milling selama 3 jam dengan ukuran partikel terkecil hingga 14.92 nm. Variasi waktu milling dan rasio massa optimum pada waktu milling selama 3 jam dengan rasio massa sebesar 1 : 20 tanpa perlakuan sintering ulang dengan nilai kuat tekan sebesar 5,85987 Mpa yang dapat diaplikasikan pada tulang cancellous.

Kata kunci : High Energy Milling (HEM), implan tulang, nanohidroksiapatit, tulang sotong (*Sepia sp.*).

PENDAHULUAN

Tulang memiliki banyak fungsi dalam tubuh manusia di antaranya sebagai penopang utama tubuh agar dapat berdiri tegak guna lancarnya aktivitas sehari-hari, sebagai pelindung organ-organ dalam dan sumsum pada tubuh manusia, sebagai tempat melekatnya jaringan otot, sebagai cadangan dan tempat metabolisme mineral tubuh seperti kalsium (Ca) dan fosfat (P), serta sebagai tempat pembentukan dan perkembangan sel darah (Dewi, 2009).

Saat tulang mengalami kerusakan, penyembuhannya tidak dapat dilakukan secara spontan. Proses penyembuhan secara spontan pada kerusakan tulang tak mampu mengembalikan struktur fisiologi tulang secara utuh. Dalam proses penyembuhannya digunakan sumber implantasi dengan menggunakan bahan biomaterial pengganti yang biocompatible dengan tulang asli. Bahan sintetis yang biokompatibel dengan tulang asli adalah hidroksiapatit.

Bahan ini dapat digunakan untuk merehabilitasi jaringan dan menggantikan mineral jaringan tulang. Hidroksiapatit (HA) merupakan komponen terbesar dalam tulang sebesar 60% dari total fase mineral tulang. HA bersifat resorbable, biokompatibel, bioaktif dan osteokonduktif yang dapat mendukung proses remineralisasi tulang. Hidroksiapatit dapat meningkatkan aktivitas pertumbuhan dan perkembangan sel-sel tulang yang akan memperbaiki fungsi jaringan yang rusak (Aminatun et al., 2013).

Penelitian HA dari tulang sotong telah dilakukan oleh Aminatun et al. (2013) dan Siswanto et al., (2013) dengan metode hidrotermal dilanjutkan proses sintering. Hasil terbaik yang ditunjukkan dengan struktur kristal, morfologi butir, toksisitas serta uji kuat

tekan terjadi pada proses hidrotermal 200 °C selama 12 jam, dilanjutkan proses sintering pada suhu 900 °C selama 1 jam. Namun ukuran partikel hidroksiapatit yang dihasilkan dari kedua penelitian tersebut masih berorde mikro. Oleh karena itu, dilakukan pengembangan penelitian untuk menghasilkan partikel hidroksiapatit berorde nano.

Proporsi dari permukaan atom partikel akan lebih baik saat berukuran nanometer (Leng, 2007). Partikel berukuran nanometer dapat mempercepat proses osteokonduksi dan osteointegrasi pada jaringan tulang. Saat dilakukan kompaksi pada bahan berorde nano maka struktur bahan akan lebih kompak dibandingkan dengan bahan berorde mikro. Penelitian nano HA menggunakan metode milling telah dilakukan oleh Fathi dkk (2008) dengan kecepatan putar sebesar 530 rpm dan variasi waktu selama 2 sampai 40 jam. Hasil yang didapatkan oleh Fathi dkk bahwa selama lebih dari 12 jam telah menghasilkan HA berukuran nano dengan karakteristik yang baik dan sesuai dengan apatit tulang.

Teknik Milling dengan menggunakan HEM adalah teknik penghancur yang membuat luas permukaan sampel menjadi lebih luas dengan energi tumbukan antar bola-bola milling dan dinding vial yang berputar sehingga ukuran partikel sampel yang dihasilkan lebih kecil. Parameter milling yang mempengaruhi proses milling seperti tipe alat milling, rasio bola dengan sampel, ukuran dan jenis material bola, waktu milling, kecepatan milling, temperatur milling, jenis sampel, ukuran material awal, jenis material dari vial, dan lain sebagainya. Semakin banyak bola milling yang digunakan maka akan semakin kecil partikel yang dihasilkan. Semakin sedikit material yang

dimilling maka akan semakin cepat kita memperoleh material berukuran nano. Keuntungan menggunakan HEM adalah memungkinkan untuk menghasilkan regangan yang besar dan memproduksi struktur nanokristal.

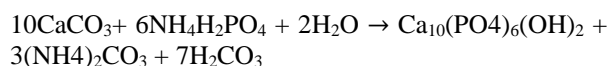
Berdasarkan uraian yang telah disebutkan di atas maka penelitian ini dilakukan untuk membuat ukuran HA dari tulang sotong (*Sepia Sp.*) menjadi berorde nano dengan variasi rasio massa serbuk HA dengan bola *milling* guna menghasilkan serbuk nano HA yang layak untuk aplikasi *bone repair*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam 2 tahapan yaitu sintesis hidroksiapatit melalui metode hidrotermal dengan prekursor Ca diekstrak dari tulang sotong. Kemudian dilanjutkan dengan proses *milling* dengan menggunakan HEM untuk menghasilkan serbuk HA berukuran nano.

Sintesis Hidroksiapatit dengan Metode Hidrotermal dilanjutkan proses sintering

Diawali dengan mengekstrak CaCO_3 dari tulang sotong (*Sepia Sp.*) dengan mengambil bagian *lamellae* tulang sotong kemudian dijadikan bubuk dengan menggunakan mortar, lalu dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 350°C selama 3 jam. Sintesis HA dengan perbandingan Ca/P sebesar 1,67 dihasilkan dengan cara mencampurkan 10 gram CaCO_3 dengan 100 ml aquades sehingga dihasilkan larutan CaCO_3 ($M_r = 100$) 1M. Sedangkan 6,9 gram $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (Merck, 99,9+) dicampurkan ke dalam 100 ml aquades sehingga dihasilkan larutan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ($M_r = 115$) 0,6 M. Persamaan reaksi antar senyawa-senyawa tersebut adalah sebagai berikut.



Larutan CaCO_3 1M dan $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0,6 M yang dihasilkan kemudian dicampur menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah selesai, campuran tersebut dipindahkan ke reaktor SS 316L dan dimasukkan ke dalam oven listrik untuk dipanaskan selama 12 jam pada suhu 200°C . Setelah proses pemanasan selesai kemudian sampel didinginkan pada suhu ruang. Sampel yang telah mendingin kemudian dicampur dengan aquades menggunakan *magnetic stirrer* untuk proses pencucian dan pembilasan berulang kali hingga sampel ber pH netral ($\text{pH} = 7$). Pembilasan dilakukan untuk menghilangkan produk lain yang bersifat asam. Pembilasan terakhir dengan menggunakan methanol p.a yang bertujuan untuk membatasi aglomerasi partikel HA selama proses pengeringan. Kemudian sampel yang telah dibilas disaring dengan menggunakan kertas saring selanjutnya dikeringkan dalam oven listrik pada suhu 50°C selama 1 jam. Serbuk HA yang dihasilkan kemudian disintering pada suhu 900°C selama 1 jam menggunakan *furnace*.

Sintesis NanoHidroksiapatit dengan Metode Milling

Serbuk HA hasil tahapan di atas kemudian diberi perlakuan *milling* dengan variasi rasio massa serbuk HA: massa *ball milling* sebesar 1:10 dan 1 : 20

dengan waktu *milling* selama 3 jam masing-masing secara berturut-turut dinamakan sampel P3 dan Q3(B) yang semua sampel mendapat perlakuan sintering ulang. Kemudian terdapat sampel Q3 A (tanpa perlakuan sintering ulang). Perlakuan sintering ulang dilakukan untuk menghilangkan pengotor yang mengakibatkan perubahan warna pada sampel yang dihasilkan setelah proses *milling*. Serbuk HA dan *ball milling* yang terbuat dari alumina ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan perbandingan di atas, kemudian keduanya dimasukkan ke dalam *vial milling*, lalu timer pada HEM diatur dengan pola variasi waktu yaitu 10 menit mesin ON kemudian 10 menit selanjutnya mesin OFF selama 1 jam tiap *running*. Pola waktu *milling* tersebut berlaku secara berulang dan akumulatif hingga dicapai waktu *milling* selama 3 jam.

Karakterisasi

Karakterisasi struktur kristal nano-HA dilakukan dengan menggunakan Xpert-Pro PAnalytical pada sudut $2\theta = 5^\circ - 60^\circ$. Pengamatan sampel XRD menghasilkan spektrum pada puncak-puncak intensitas dengan sudut 2θ tertentu. Kemudian dari hasil tersebut dicocokkan dengan data ICDD untuk mengidentifikasi puncak difraksi yang dihasilkan. Parameter kisi HA sistem heksagonal dihitung dengan program PCW (*Powder Cell of Window*) dengan persamaan:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

Dimana d_{hkl} adalah jarak antar bidang berindeks hkl. Hkl adalah indeks Miller, sekumpulan bidang sejajar satu dengan yang lain. Sedangkan a,b,c adalah parameter kisi, dan n adalah faktor bersama yang membagi indeks bidang menjadi bilangan bulat terkecil. Parameter kisi berkaitan erat dengan volume kristal. Volume kristal heksagonal dihitung dengan persamaan berikut :

$$V = a^2 c \sin 60^\circ \quad (2)$$

Karakterisasi ukuran partikel dan morfologi butir dilakukan dengan menggunakan TEM dengan perbesaran 10.000x dan 40.000x. Sampel yang semula berbentuk serbuk terlebih dahulu dipreparasi dengan melarutkannya ke dalam etanol kemudian dilakukan proses ultrasonikasi pada larutan tersebut agar larutannya menjadi homogen. Kemudian keping kecil berwarna keemasan berdiameter sekitar 1-2 mm dimasukkan ke dalam larutan sampel dan dikeringkan pada suhu ruang. Langkah selanjutnya memasukkan kepingan tersebut ke dalam holder berbentuk seperti pena (silinder). Holder berbentuk pena tersebut dimasukkan ke dalam alat TEM kemudian alat TEM divakumkan untuk selanjutnya dilakukan *running*. Pengambilan spot gambar yang paling jelas dan bagus dilakukan pada layar perangkat TEM. Hasil gambar yang dipilih diproses melalui program dalam komputer yang terhubung langsung dengan perangkat TEM.

Compressive strength dikarakterisasi dengan menggunakan Shimadzu Autograph AG-10TE. Sampel dicetak terlebih dahulu hingga berbentuk *pellet* dengan dikompaksi menggunakan beban seberat 4 ton. Massa sampel dibuat sama yaitu seberat 2 gram dan diameter sampel dibuat sama yaitu sebesar 15 mm. Sampel yang telah disiapkan sebelumnya diletakkan pada bagian penekan mesin uji tekan, kemudian mesin dinyalakan

dan diatur pula kecepatan serta gaya yang akan diukur. *Load cell* diturunkan perlahan, kemudian *distop* dan dicatat besar gaya dan *strain* yang dihasilkan. Langkah tersebut dilakukan dengan perubahan yang sangat kecil hingga sampel patah dan gaya maksimal yang dapat ditahan oleh sampel akan ditampilkan pada *display* mesin uji tekan. Besaran-besaran yang didapatkan diolah menggunakan Persamaan (3) untuk mengetahui besar kuat tekan pada sampel.

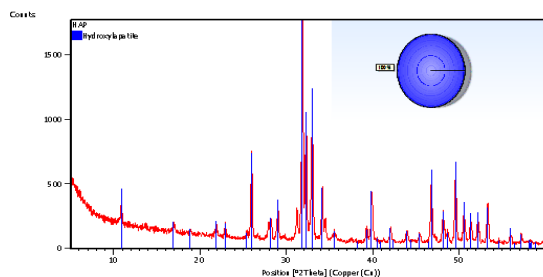
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

σ = stress (N/m²) ; F = gaya (N) ; A = luas penampang sampel (m²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji X-Ray Diffraction (XRD)

Hidroksiapatit yang disintesis dari proses hidrotermal pada suhu 200°C selama 12 jam kemudian diteruskan dengan proses sinter pada suhu 900°C selama 1 jam (sampel HA kontrol) dikarakterisasi XRD dengan sudut pendek sebesar $2\theta = 5^\circ$ -60°. Hasil uji menunjukkan 100% kecocokan dengan ICDD referensi untuk hidroksiapatit (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂) yaitu ICDD 01-074-0565 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dengan puncak intensitas tertinggi pada 2θ (°2theta) = 31.8807° sebesar 1684.54.

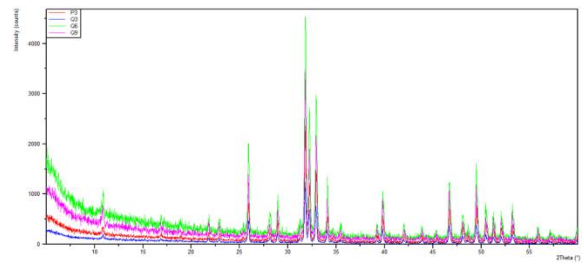


Gambar 1. Spektrum XRD hidroksiapatit dari tulang sotong (*Sepia sp.*)

HA yang telah dihasilkan melalui proses hidrotermal dan sintering kemudian dilakukan proses *milling* selama 3 dengan variasi rasio massa serbuk : massa bola *milling* sebesar 1 :10 dan 1 : 20. Kemudian dilakukan proses sintering ulang pada suhu 900°C selama 1 jam guna memperbaiki kristalinitas pada sampel. Hasil uji XRD pada sampel setelah *milling* baik yang diberi perlakuan sintering ulang maupun tidak menunjukkan tidak ada senyawa lain yang teridentifikasi selain hidroksiapatit. Hal ini ditunjukkan oleh puncak-puncak difraksi yang terbentuk berkesesuaian 100% dengan data pada ICDD referensi. Puncak difraksi maksimum HA setelah perlakuan disajikan pada Tabel 1. dan grafik XRD dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Puncak Difraksi Maksimum HA

Sampel	Puncak Difraksi Maksimum	
	2θ (°2theta)	Intensitas
Q3 (B)	31.7930	1169.90
P3	31.8056	1083.11
Q3 (A)	31.8392	525.18



Gambar 2 . Spektrum XRD HA dari Proses *Milling*

Berdasarkan Tabel 1, secara kuantitatif terlihat bahwa sampel Q3 (HA yang *dimilling* selama 3 jam) memiliki intensitas puncak difraksi tertinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kristalinitas sampel Q3 lebih tinggi dari sampel lainnya. Kristalinitas bahan dapat diketahui dari parameter tinggi puncak dan lebar FWHM, namun karena pada identifikasi fasa yang dihasilkan merupakan fasa tunggal maka tinggi puncak dapat mewakili kristalinitas HA. Hasil uji XRD menunjukkan terjadinya pergeseran sudut difraksi. Pada data ICDD menunjukkan puncak difraksi maksimum pada sudut 2θ (°2theta) = 31.7650. Hal ini dimungkinkan terjadi akibat adanya regangan kisi kristal hidroksiapatit setelah perlakuan *milling*.

Pada penelitian ini dilakukan *refinement* dengan program PCW. Informasi yang didapatkan adalah parameter kisi, seperti yang tersaji dalam Tabel 2.

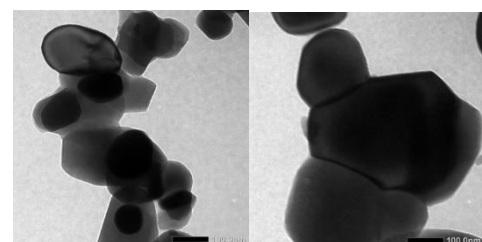
Tabel 2. Parameter Kisi HA

Parameter	ICSD	Sampel			
		Kontrol	Q3 (B)	P3	Q3 (A)
Rp	-	19.84	15.46	15.98	13.71
Rwp	-	25.84	21.26	22.01	17.93
Rexp	-	3.11	3.02	2.98	1.41
a=b	9.424	9.411	9.422	9.423	9.420
c	6.879	6.865	6.879	6.881	6.875
Volume kristal	529.07	526.52	528.89	529.05	528.29

Tabel 2 menunjukkan terjadinya perubahan nilai parameter kisi a dan c. Namun secara keseluruhan dari keempat sampel memiliki nilai parameter kisi yang mendekati nilai parameter kisi HA referensi yaitu a = b = 9.424 Å dan c= 6.879Å. Nilai parameter kisi berkaitan dengan volume kristal. Volume kristal dihitung dengan Persamaan (2).

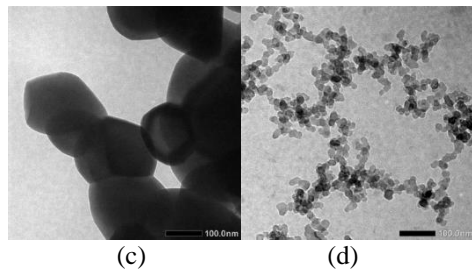
Hasil Uji Transmission Electron Microscope (TEM)

Analisis morfologi dan ukuran partikel didapatkan dari hasil uji TEM dengan perbesaran yang bervariasi sekitar 10.000x hingga 40.000x. Hasil dari karakterisasi ini dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)

(b)



Gambar 3. Hasil Uji TEM untuk Sampel HA: (a) Kontrol, (b) Sampel Q3 B, (c) Sampel P3, dan (d) Sampel Q3 A (tanpa disinter ulang)

Hasil TEM pada Gambar 3. di atas menunjukkan morfologi sampel yang tidak homogen dengan bentuk partikel bulat tidak beraturan dan distribusi partikel yang tidak homogen. Partikel satu sama lain saling tumpang tindih membentuk cluster yang lebih besar. Hasil uji sampel Q3 A (tanpa perlakuan sinter ulang) menunjukkan morfologi yang terlihat terpisah antar partikel satu dengan partikel lainnya. Kecenderungan untuk membentuk cluster yang lebih besar dan saling tumpang tindih antar partikel satu dengan yang lainnya menjadi kecil meskipun distribusi partikel tetap tidak merata. Data ukuran partikel dan ukuran cluster dari hasil uji TEM disajikan pada Tabel 3.

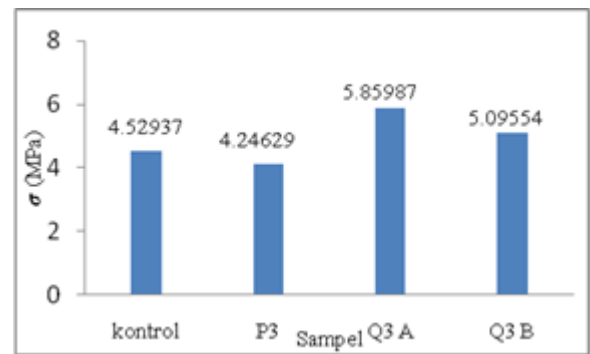
Tabel 3. Ukuran Partikel dan Cluster dari Uji TEM

Nama Sampel	Ukuran Partikel (nm)	Ukuran Cluster (nm)
Kontrol	91.48- 150.81	209.79- 394.28
Q3 (B)	216.60- 378.03	334.46- 847.68
P3	104.87- 293.20	679.87- 1210.15
Q3 (A)	14.92- 25.09	122.59- 337.50

Variasi rasio massa mengakibatkan penurunan ukuran cluster dimana semakin besar rasio massa yang digunakan menjadikan ukuran cluster menjadi lebih besar. Ukuran partikel HA setelah perlakuan *milling* menunjukkan penurunan yang signifikan sehingga menjadikan ukurannya termasuk pada range ukuran untuk material nano (yaitu material dengan ukuran < 100 nm). Namun perlakuan sintering pada sampel setelah *milling* menjadikan ukuran partikel menjadi lebih besar. Hal ini disebabkan karena perlakuan sintering mempengaruhi interaksi antar partikel nano sehingga memiliki kecenderungan untuk membentuk aglomerasi.

Hasil uji Compressive Strength

Uji *compressivestrength* dilakukan dengan menggunakan alat *Autograph*. Ukuran partikel yang lebih kecil akan cenderung lebih kompak dibandingkan dengan ukuran partikel yang lebih besar. Data pengujian *compressivestrength* seluruh sampel didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan (3). Hasil perhitungan nilai kuat tekan pada masing-masing sampel disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Nilai Kuat Tekan

Pada Gambar 4, nilai kuat tekan dipengaruhi oleh ukuran partikel dan ukuran cluster yang terbentuk. Nilai kuat tekan berbanding terbalik dengan ukuran partikel dan cluster. Semakin kecil ukuran partikel dan cluster pada bahan maka semakin besar nilai kuat tekannya. Ukuran partikel mempengaruhi proses kompaksi pada sampel sehingga mempengaruhi nilai kuat tekan pula. Saat ukuran partikel HA berorde nano dikompaksi maka partikel akan semakin kompak dan tersusun rapi sehingga meningkatkan nilai kuat tekannya. Nilai compressive strength seluruh sampel berkisar antara 4.24629 – 5.85987 MPa, cocok untuk aplikasi pada tulang *cancellous*.

KESIMPULAN

Proses *milling* dengan menggunakan HEM berkecepatan putar 350 rpm pada variasi rasio massa 1 : 10 dan 1 : 20 selama 3 jam mempengaruhi kristalinitas, ukuran partikel, ukuran cluster serta nilai kuat tekan (*compressive strength*) HA. Semakin kecil rasio massa serbuk HA : bola *milling* atau semakin besar massa bola *milling* yang digunakan maka ukuran cluster yang terbentuk semakin kecil. Ukuran partikel yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 14.92 - 216.60nm sedangkan ukuran cluster berkisar antara 122.59 - 679.87nm. Variasi rasio massa serbuk HA : bola *milling* optimal yaitu pada sampel Q3 A dengan rasio massa 1 : 20 yang *dimilling* selama 3 jam tanpa perlakuan sinter ulang menghasilkan ukuran partikel berkisar 14.92 – 25.09 nm, ukuran cluster berkisar 122.59- 337.50 nm, dan nilai kuat tekan sebesar 5.85987 Mpa yang cocok diaplikasikan pada tulang *cancellous*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada DIKTI atas bantuan dana melalui Pekan Kreativitas Mahasiswa (PKM) guna membiayai kebutuhan penelitian ini dan juga seluruh pihak terkait dengan pelaksanaan penelitian agar berjalan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aoki H, 1991, *Science and Medical Applications of Hydroxyapatite*, Tokyo: Institute for Medical and Engineering, Tokyo Medical and Dental University.
- Balaz, P, 2008, *Mechanochemistry in Nanoscience and Mineral Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- De Castro, Claudio L. and Mitchell, Brian S., 2002, *Nanoparticle from Mechanical Attrition*,

- Departement of Chemical Engineering, Tulane University, New Orleans, Louisiana, USA: American Scientific Publishers.
- Dewi, Setia Utami, 2009, *Pembuatan Komposit Kalsium Fosfat-kitosan dengan metode sonifikasi*, Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Earl, J.S., 2006, Hydrothermal Synthesis of Hydroxyapatite, *Journal of Physics : Conference Series* 26 (2006) 268-271.
- Egerton, Ray F, 2005, *Physical Principles of Electron Microscopy, An Introduction to TEM, SEM, and AEM*, Springer Science+Business Media, Inc. Department of Physics, University of Alberta: Canada
- Fathi, Mohammad Hossein., Mortazavi, Vajihesadat., dan Esfahani, Seyed Iman Roohani., 2008, *Bioactivity Evaluation of Synthetic Nanocrystalline Hydroxyapatite*, Iran: Dental Research Journal (Vol.5, No.2. Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology).
- Ficai, Anton, Andronescu, Ecaterania. Voicu, Georgeta. Ficai, Denisa, 2011, *Advances in Composite Materials for Medicine and Nanotechnology*, Romania: Politehnica University of Bucharest, Faculty of Applied Chemistry and Material Science.
- Guozhong Cao, 2003, *nanostructure & nanomaterials synthesis, properties & application*, imperial college press, university of Washington, USA).
- Halimah dkk, 2009, *Analisis Survival Peningkatan Densitas Mineral Tulang Pasien Perempuan yang Menderita Osteoporosis Primer dengan Terapi Sesuai Tata Laksana Klinik MTIE (Makmal Terpadu Endokrinologi)*. Vol.12 No. 4 Oktober 2009 :351-361.
- Hamzah, M.S dan Sutomo, 1992, *Pengamatan beberapa aspek biologi dan distribusi cumi-cumi (Sepioteuthis lessoniana) di perairan Kep. Kai Kecil, Maluku Utara dan sekitarnya*. Prosiding Seminar Ekologi dan Pesisir I, Puslitbang Oseanologi-LIPI dan ISOI Jakarta :322-326).
- Hui, P., Meena, S.L., Singh, G., Agarwal, R.D., Prakash, S., 2010. *Synthesis of Hydroxyapatite Bio-Ceramic Powder by Hydrothermal Method*, *Journal of Minerals & Material Characterization & Engineering*, Vol. 9, No.8, pp.683-692, India.
- Istifarah dkk, 2012, *Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit dari Tulang Sotong (Sepia sp.)-Kitosan untuk Kandidat Aplikasi Bone Filler*. Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi, Surabaya: Universitas Airlangga.
- Ivankovic, H., Orlic, S., Kranzelic, D., Tkalcec E. 2010. *Highly Porous Hydroxyapatite Ceramics for Engineering Applications*, *Advances in Science and Technology* Vol. 63 (2010) pp 408-413, Switzerland.
- Jereb P dan Roper CFE, 2005, *Cephalopods of the world*. FAO Species Catalogue for Fishery Purpose 4(1): 114-115).
- [KKP]Kementrian Kelautan dan Perikanan, 2005, Sotong. <http://www.pipp.kkp.go.id> diakses 24 Oktober 2013.
- Leng, Tan Wei, 2007, *Synthesis and Characterization of Magnetite and Magnetite-Epoxy Polymers Nanocomposites and Their Thermal and Electrical Behaviors*, Thesis Master of Science.
- Luther, Dr. Wolfgang, 2004, *Industrial Application of nanomaterials-chances and risks*, Technology Analysis, Germany : Future Technologies Division of VDI Technologiezentrum GmbH Graf-Recke-Str.84 402239 Dusseldorf).
- Maryam, Siti dkk, 2012, *Pengaruh perbedaan pancing jigs beradium dan berlampu thdp hasil tangkapan sotong di perairan pantai Sario Tumpaan Kota Manado*, *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap* 1(1): 18-21. Program Studi pemanfaatan sumberdaya perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Manado : universitas Sam Ratulangi.
- Mayo, M.J., Hangue, D.C., Cheng, D.J. 1993 : *Mat. Sci. Eng.*, A166, p. 145-159.
- Moriarty, P, 2001, *Nanostructures materials*. *Rep Prog Phys* 64 (3), p. 297-381.
- Park, John B. and Lakes R.S., 2007, *Biomaterials, An Introduction, Third Edition*, Springer Science + Business Media, LLC, New York, USA.
- Penga, Yohana Maria, 2013, *Pengaruh Proses Sintering Terhadap Karakteristik Hidroksiapatit Dari Tulang Sotong (Sepia Sp.)*, Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi, Surabaya: Universitas Airlangga.
- Schmid, G. Bauml, M. Geerkens, M. et al, 1999, *Current and Future Applications of Nanoclusters*, *Chem. Soc. Rev.* 28 (3), p. 179-185.
- Yildirim, Oktay, 2004, *Preparation and Characterization Of Chitosan/Calcium Phosphate Based Composite Biomaterials*, Disertasi, Turki: Department Materials Science and Engineering, Mayor Materials Science and Engineering, Izmir Institute Of Technology.

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROGEL KITOSAN-GLUTARALDEHID DENGAN PENAMBAHAN *PLASTICIZER* GLISEROL UNTUK APLIKASI PENUTUP LUKA

Djony Izak Rudyardjo

Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

Abstract

The research had been done to determine the effect of addition glycerol as plasticizer to the characteristics of chitosan-glutaraldehyde hydrogel for wound dressing application. The addition of glycerol was served to increase flexibility and improve the mechanical properties of chitosan-glutaraldehyde hydrogel that can be applied as a wound dressing accordance with existing standards. Preparation of hydrogel was made by mixing chitosan dissolved in 1% acetic acid with 1% glutaraldehyde solution with ratio 50 : 3 (v/v) and added by glycerol with variation of 1ml - 4 ml. The glycerol concentration used no more than 2%. Based on the research that had been done, the addition of glycerol caused thickness, tensile strength, and the absorption ability of hydrogel was decreased; elongation and water resistance of hydrogel increased; and the surface structure of hydrogel is more smooth. Based on the result of mechanical properties, the best characteristics of chitosan-glutaraldehyde-glycerol hydrogel is shown with the addition of 2 ml glycerol 2% composition which has a value of tensile strength of $14,34 \pm 1,90$ MPa and elongation at $2,40 \pm 0,91$ % that meet the standards of the mechanical properties of human skin. The structure of that hydrogel surface is smooth, homogeneous, has a water resistance of $24,78 \pm 6,57$ %, and is able to absorb liquid more than 99,9% in the amount of $149,65 \pm 22,46$ % which is an important characteristic of the hydrogel. So, the chitosan-glutaraldehyde-glycerol hydrogel with the addition of 2 ml glycerol 2% can be applied as a wound dressing.

Keywords : Chitosan, Glutaraldehyde, Glycerol, Hydrogel, Plasticizer, Wound Dressing

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan plasticizer gliserol terhadap karakteristik hidrogel kitosan-glutaraldehid untuk aplikasi penutup luka. Penambahan gliserol bertujuan agar hidrogel kitosan-glutaraldehid lebih fleksibel dan memiliki sifat mekanik yang baik sehingga dapat diaplikasikan sebagai penutup luka sesuai dengan standar yang ada. Pembuatan hidrogel dilakukan dengan cara mencampurkan kitosan yang dilarutkan dalam 1% asam asetat dengan 1% larutan glutaraldehid pada perbandingan 50 : 3 (v/v) dan ditambahkan gliserol dengan variasi volume 1 ml – 4 ml. Konsentrasi gliserol yang digunakan tidak lebih dari 2%. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penambahan gliserol menyebabkan ketebalan, kuat tarik, dan kemampuan mengabsorpsi cairan hidrogel menurun; elongasi dan ketahanan terhadap air hidrogel meningkat; serta struktur hidrogel menjadi lebih halus. Berdasarkan hasil uji sifat mekanik, hasil terbaik ditunjukkan oleh hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol dengan penambahan gliserol 2% sebanyak 2 ml, yang memiliki nilai kuat tarik sebesar $14,34 \pm 1,90$ MPa dan elongasi sebesar $2,40 \pm 0,91$ % yang memenuhi standar sifat mekanik kulit manusia. Struktur permukaan hidrogel tersebut halus, homogen, memiliki ketahanan terhadap air sebesar $24,78 \pm 6,57$ % serta mampu mengabsorpsi cairan lebih dari 99,9% yaitu sebesar $149,65 \pm 22,46$ % yang merupakan karakteristik penting hidrogel. Jadi, dapat disimpulkan bahwa hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol dengan penambahan gliserol 2% sebanyak 2 ml dapat diaplikasikan sebagai penutup luka.

Kata kunci: Glutaraldehid, Gliserol, Hidrogel, Kitosan, Penutup Luka, Plasticizer

PENDAHULUAN

Kulit merupakan organ aktif yang memiliki fungsi vital, yaitu sebagai perlindungan dan homeostasis tubuh. Secara alami, kulit merupakan organ imunologis yang penting dan mengandung seluruh elemen imunitas seluler. Namun meskipun setiap makhluk hidup memiliki fungsi biologis tersebut, ketika terdapat infeksi luka maka penyembuhan yang optimal juga perlu diupayakan seperti merawat atau menggunakan penutup luka yang telah dilapisi oleh bahan antimikroba. Penutup luka yang baik harus dapat memelihara lingkungan yang lembab di permukaan luka, memungkinkan pertukaran gas, bertindak sebagai penghalang bagi organisme, dan menghilangkan kelebihan eksudat [1].

Penggunaan kitosan sebagai bahan dasar untuk pembuatan material penutup luka sepertinya memang layak diunggulkan. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Jayakumar *et al.* [1], menunjukkan

bahwa bahan berserat yang berasal dari kitin dan turunannya memiliki sifat ketahanan yang tinggi, biokompatibilitas, rendah toksisitas, dapat menyerap cairan, dan aktivitas antibakteri sehingga akan mempercepat penyembuhan. Selain sifat yang unggul dari kitosan di atas, kitosan ternyata juga memiliki kekurangan yaitu bersifat sensitif terhadap larutan asam. Oleh karena itu, penting untuk mencegah kitosan mudah larut dalam larutan asam dan meningkatkan ketahanan kimianya sekaligus hidrofilisitas serta degradasi biologis jangka panjang. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menghilangkan sejumlah gugus amina melalui reaksi silang namun tetap mempertahankan gugus amina bebasnya [2]. Salah satu senyawa yang biasa digunakan untuk reaksi silang adalah glutaraldehid.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Rohindra *et al.* [3] menunjukkan bahwa pencampuran kitosan dengan glutaraldehid dapat diaplikasikan sebagai

hidrogel. Hidrogel adalah absorben alami yang mampu menyerap air hingga lebih dari 99% kandungannya [4] serta dapat terurai melalui pembusukan oleh mikroba sehingga aman digunakan [5]. Sedangkan glutaraldehid merupakan suatu bahan desinfektan yang efektif dalam membasmi bakteri, virus serta jamur, dan bersifat nontoksik serta tidak iritatif bagi manusia [6]. Studi yang dilakukan pada tikus dengan menggunakan silang antara kitosan dan glutaraldehid menunjukkan adanya toleransi yang menjanjikan pada jaringan hidup dari otot tikus [7].

Berdasarkan penelitian Istiqomah [5], bahwa pembuatan hidrogel kitosan-glutaraldehid dengan perbandingan massa kitosan-glutaraldehid sebesar 50 : 3 memberikan hasil karakteristik yang baik dan dapat diaplikasikan sebagai penutup luka berdasarkan hasil uji *in vivo*nya. Akan tetapi material tersebut masih bersifat agak rapuh sehingga belum dapat dilakukan uji sifat mekanik. Menurut Hu *et al.* [8], kitosan-glutaraldehid yang telah berikatan silang memiliki beberapa keterbatasan, seperti kerapuhan dan sifat penghalang udara yang rendah. Oleh sebab itu, maka perlu adanya penambahan *plasticizer* (zat pemlastis) untuk memperbaiki sifat mekaniknya mengingat penutup luka sebaiknya memiliki sifat mekanik yang baik agar dapat maksimal ketika diaplikasikan pada daerah yang mungkin banyak menyebabkan terjadinya deformasi akibat gesekan atau banyaknya pergerakan, seperti pada lutut, siku tangan, dan sebagainya. Zat pemlastis adalah suatu bahan yang ditambahkan ke dalam suatu material berupa elastomer untuk meningkatkan pengolahan, fleksibilitas, dan tarikannya. Suatu pemlastis dapat menurunkan viskositas lebur, temperatur transisi gelas, dan modulus elastis dari produk tanpa mengubah bentuk karakter kimia dari material pemlastis [9]. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai zat pemlastis adalah gliserol. Gliserol merupakan zat pemlastis yang murah, sumbernya mudah diperoleh, dapat diperbaharui, serta ramah lingkungan karena mudah terdegradasi oleh alam. Penggunaan konsentrasi gliserol untuk lapisan tipis tidak lebih besar dari 2% [10][11].

Berdasarkan hal tersebut maka penelitian yang dilakukan adalah pengaruh penambahan *plasticizer* gliserol terhadap karakteristik hidrogel kitosan-glutaraldehid untuk aplikasi penutup luka. Kitosan yang digunakan berasal dari kepiting karena kepiting memiliki prosentase kitin yang tinggi dibandingkan dengan organisme yang lain. Dengan adanya upaya perbaikan tersebut diharapkan nantinya dapat dihasilkan kualitas material hidrogel kitosan-glutaraldehid yang lebih baik sehingga dapat bekerja secara optimal sebagai material medis.

METODE EKSPERIMEN

ALAT DAN BAHAN

ALAT

Neraca digital, petri *disk*, spatula, pipet, *magnetic stirrer*, selotip, gelas *beaker*, gelas ukur, labu ukur, krus, kertas saring, kertas pH, *screen mesh*, *cutter*, *Coating Thickness Gauge* tipe TT 210, spektrofotometer IR tipe Buck Scientific 500, spektroskopi IR tipe *Thermo Scientific Nicolet iS10*, mesin uji tarik merk IMADA tipe HV-1000N, dan mikroskop optik merk OLYMPUS tipe SZX9 dengan kamera perekam merk SONY ExwaveHAD.

BAHAN

Cangkang kepiting, glutaraldehid, gliserol, *Phosphate Buffer Saline* (PBS), larutan HCl, larutan NaOH, asam asetat, dan aquades.

TAHAP PEMBUATAN KITOSAN

A. TAHAP DEPROTEINASI

Cangkang kepiting yang sudah dihaluskan dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dan ditambahkan dengan natrium hidroksida 3,5% dengan perbandingan 1:10 (w/v). Proses deproteinasi dilakukan selama ± 2 jam pada suhu 75 °C dengan pengadukan *magnetic stirrer*. Cangkang kepiting dicuci dengan menggunakan aquades hingga pH air cucian netral kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C sampai kering. Dalam proses ini didapatkan *crude* kitin.

B. TAHAP DEMINERALISASI

Crude kitin dimasukkan ke dalam gelas *beaker* kemudian ditambahkan larutan HCl 2N sedikit demi sedikit agar busa yang dihasilkan tidak tumpah, dengan perbandingan antara *crude* kitin dengan larutan HCl 1:15% (w/v). Pada proses ini dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu kamar. Setelah itu *crude* kitin dicuci dengan aquades hingga pH air cucian netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C sampai kering. Dalam proses ini akan menghasilkan kitin.

C. TAHAP DEASETILASI

Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan kitin ke dalam gelas *beaker*, kemudian ditambahkan larutan NaOH 60% dengan perbandingan kitin dan larutan NaOH 1:10 (w/v). Campuran direbus dengan suhu 110 °C selama 2 jam dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu campuran disaring, kemudian dicuci dengan aquades hingga didapatkan pH air cucian netral. Langkah selanjutnya adalah dengan mengeringkannya di dalam oven pada suhu 80°C sampai kering, sehingga diperoleh kitosan. Kitosan yang diperoleh kemudian ditimbang dan dicatat.

TAHAP PEMBUATAN HIDROGEL KITOSAN-GLUTARALDEHID-GLISEROL

A. TAHAP PEMBUATAN LARUTAN KITOSAN

Kitosan dilarutkan ke dalam asam asetat 1% pada temperatur ruang dan diaduk selama ± 5 jam dengan menggunakan *magnetic stirrer* untuk mendapatkan larutan 1% (w/v). Larutan kitosan kental berwarna kuning pucat kemudian didiamkan selama semalam untuk menghilangkan gelembung.

B. TAHAP PEMBUATAN HIDROGEL

Larutan glutaraldehid 1% ditambahkan ke dalam larutan kitosan 1% dengan rasio 50 : 3 (v/v). Larutan tersebut diaduk selama 1 jam dalam suhu ruang sampai viskositasnya meningkat. Larutan kemudian ditambahkan 1 ml gliserol 1% sambil diaduk selama 1 jam. Hidrogel yang terbentuk kemudian dituang pada petri *disk* sebanyak 52ml dan dikeringkan dalam suhu ruang selama 10 hari (dengan keadaan lingkungan steril). Perlakuan tersebut kemudian diulangi untuk penambahan gliserol masing-masing 2 ml, 3 ml, dan 4ml serta untuk konsentrasi gliserol 2%.

Hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol yang terbentuk kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik terbaik hidrogel yang dapat diaplikasikan sebagai penutup luka, meliputi uji ketebalan, uji tarik, uji morfologi, uji gugus FT-IR, uji ketahanan terhadap air, dan uji kemampuan absorpsi hidrogel.

UJI KETEBALAN DAN UJI TARIK

Uji ketebalan dilakukan dengan mengukur ketebalan pada tiga titik yang berbeda dan sistematis agar dapat mewakili ketebalan seluruh sampel kemudian dihitung ketebalan rata-ratanya. Sedangkan uji tarik dilakukan dengan membentuk sampel terlebih dahulu sesuai standar yang digunakan lalu sampel ditarik hingga putus sehingga didapatkan data berupa gaya yang diberikan dan pertambahan panjang sampel. Data tersebut kemudian diolah menjadi kuat tarik (σ) dan elongasi (ϵ) dengan persamaan sebagai berikut [12]:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

(1)

dimana F adalah gaya tarikan dan A adalah luas penampang spesimen.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

(2)

dimana ΔL adalah perubahan panjang benda dan L_0 adalah panjang benda mula-mula.

UJI MORFOLOGI

Pengujian dilakukan dengan cara memotong sampel dengan ukuran 1cm x 1cm, kemudian meletakkan sampel tersebut diatas preparat dan diamatisehingga dapat terlihat struktur permukaan hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol.

UJI GUGUS FT-IR

Uji spektroskopi IR untuk kitosan dilakukan dengan cara menggerus kitosan bersama KBr dengan perbandingan 1:10 (w/w). Digunakan KBr karena tempat sel cuplikan dari sampel harus terbuat dari bahan-bahan yang tembus sinar inframerah seperti NaCl dan KBr. Campuran kemudian dipres dengan menggunakan alat pengepres pada tekanan 10 torr sehingga menjadi pellet yang padat. Sedangkan untuk uji spektroskopi IR hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol cukup dilakukan dengan meletakkan hidrogel pada tempat sampel alat spektroskopi. Hasil IR diperoleh dalam bentuk spektrum yang menggambarkan besarnya nilai % transmitan dan bilangan gelombang sehingga dapat diketahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada kitosan dan hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol.

UJI KETAHANAN TERHADAP AIR

Pengujian dilakukan dengan cara mengukur berat awal (W_0) sampel yang berukuran 1cm x 1cm kemudian direndam dalam aquades selama 15 menit [13]. Sampel yang telah direndam kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring dan diukur lagi berat akhirnya (W_a) sehingga diperoleh prosentase air yang diserap dengan menggunakan persamaan berikut [13]:

$$\% \text{ Air yang diserap} = \frac{W_a - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (3)$$

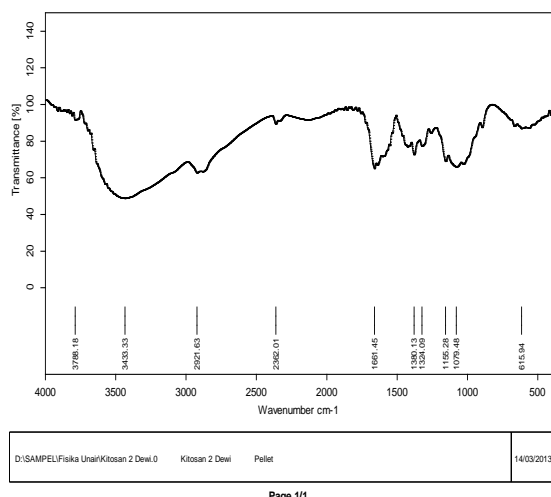
UJI KEMAMPUAN ABSORPSI HIDROGEL

Kemampuan absorpsi dari hidrogel ditentukan dengan menginkubasi hidrogel pada pH 7,4 di *Phosphate Buffer Saline* (PBS) pada suhu ruang. Larutan PBS dibuat dengan cara melarutkan 1 tablet PBS ke dalam 100 ml aquades dan diaduk hingga larut. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur berat awal (m_0) sampel yang berukuran 1cm x 1cm kemudian direndam dalam larutan PBS selama 3 jam [14]. Sampel yang telah direndam kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring dan diukur lagi berat akhirnya (m_e). Banyaknya air yang terserap pada hidrogel dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [15]:

$$E = \frac{m_e - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL PEMBUATAN KITOSAN

Dari 70,0015 gram serbuk cangkang kepiting yang digunakan pada proses pembuatan kitosan, meliputi proses deproteinasi, proses demineralisasi, dan proses deasetilasi, diperoleh kitosan sebanyak 5,2305 gram. Untuk mengetahui bahwa produk yang dihasilkan dari proses tersebut adalah kitosan maka dilakukan uji spektroskopi IR.



Gambar 1. Spektrum IR Kitosan

Dari spektrum IR di atas diketahui bahwa bahan kitosan menunjukkan gugus serapan karakteristik. Pada spektrum IR tersebut terlihat adanya pita tajam yang khas pada gugus karboksil amida ($C=O$ amida) di daerah $1661,45\text{ cm}^{-1}$. Selain itu juga terdapat puncak pita serapan gugus hidroksil ($O-H$) pada daerah $3433,33\text{ cm}^{-1}$, gugus $C-H$ pada daerah $2921,63\text{ cm}^{-1}$, dan gugus $C-O$ pada daerah $1300-1000\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan analisis gugus fungsi tersebut, spektrum IR kitosan menunjukkan munculnya serapan karakteristik sehingga dapat disimpulkan produk preparasi pada penelitian ini adalah kitosan. Penghitungan derajat deasetilasi (DD) kitosan menggunakan spektrum IR ditentukan oleh absorbansi dari gugus amida dan gugus OH . Berdasarkan analisis data spektrum IR yang telah dilakukan, dengan menggunakan metode *base line*, maka diperoleh derajat deasetilasi kitosan sebesar $81,92\%$. Standar nilai untuk derajat deasetilasi kitosan adalah $DD \geq 70\%$ [16].

HASIL PEMBUATAN HIDROGEL KITOSAN-GLUTARALDEHID-GLISEROL

Selama proses pengeringan terjadi reaksi antara kitosan dengan glutaraldehid berupa ikatan silang serta reaksi antara kitosan-glutaraldehid-gliserol dalam membentuk hidrogel. Volume hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol yang semula 52 ml untuk semua variasi volume gliserol menyusut menjadi lembaran tipis hidrogel.



Gambar 2. Spektrum IR Kitosan

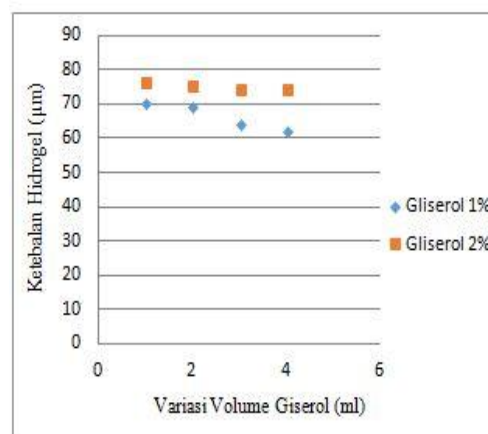
Adanya penyusutan atau pengurangan massa yang cukup signifikan ini dikarenakan oleh proses ikatan silang antara kitosan dengan glutaraldehid yang menyebabkan lepasnya molekul asam asetat dalam

matriks polimer, sehingga dapat disimpulkan telah terjadi penurunan kadar pengembangan selama proses sintesis ikatan silang kitosan [17]. Selain terjadi penyusutan volume hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol, selama proses pengeringan tersebut hidrogel yang dicetak juga mengalami perubahan warna dari bening menjadi kuning tua. Adanya perubahan warna ini menunjukkan secara visual adanya pembentukan ikatan silang antara kitosan-glutaraldehid [18].

HASIL UJI KETEBALAN

Tabel 1. Data Pengukuran Tebal Hidrogel Kitosan-Glutaraldehid-Gliserol

Konsentrasi Gliserol (%)	Variasi Gliserol (ml)	Tebal Rata-Rata (μm)
1	1	$70,6 \pm 0,6$
	2	$69,5 \pm 1,9$
	3	$64,5 \pm 1,5$
	4	$62,2 \pm 1,2$
2	1	$76,6 \pm 1,9$
	2	$75,6 \pm 1,0$
	3	$74,8 \pm 2,5$
	4	$74,3 \pm 2,2$



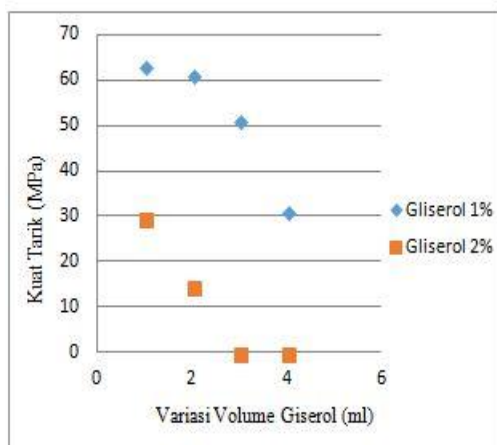
Gambar 3. Pengaruh Variasi Gliserol Terhadap Tebal Rata-Rata Hidrogel Kitosan-Glutaraldehid-Gliserol

Gambar 3 menunjukkan bahwa ketebalan hidrogel kitosan-glutaraldehid-gliserol menurun seiring dengan meningkatnya penambahan volume gliserol pada konsentrasi yang sama. Penurunan ketebalan ini disebabkan karena molekul pemlastis larut dalam tiap-tiap rantai polimer sehingga akan mempermudah gerakan molekul polimer yang menyebabkan pemlastis dapat menyebar ke rantai polimer tersebut yang dapat mengurangi gaya gesekan dan membentuk ikatan polimer-pemlastis. Hal ini memungkinkan karena pemlastis sering digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas film dengan mengurangi ikatan hidrogen intramolekular antar rantai polimer sehingga meningkatkan jarak antar intramolekular tersebut [19]. Dengan meningkatnya jarak atau ruang intramolekular antar rantai polimer maka tentu saja polimer yang terbentuk akan lebih terdistribusi merata dan fleksibel sehingga menurunkan ketebalan polimer itu sendiri. Menurut McHugh *et al.* [20], penambahan pemlastis dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada film sodium kaseinat juga menurunkan ketebalan.

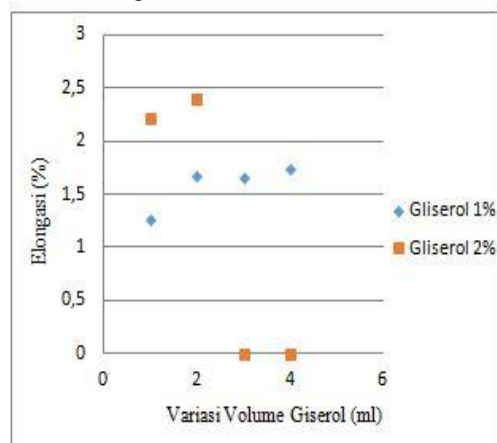
HASIL UJI TARIK

Tabel 2. Data Pengukuran Sifat Mekanik Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Glisserol

Konsentrasi Gliserol (%)	Variasi Gliserol (ml)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)
1	1	$62,95 \pm 5,98$	$1,27 \pm 0,85$
	2	$60,89 \pm 16,68$	$1,69 \pm 0,86$
	3	$51,08 \pm 11,91$	$1,67 \pm 0,84$
	4	$30,96 \pm 6,01$	$1,75 \pm 0,87$
2	1	$29,58 \pm 2,35$	$2,22 \pm 0,89$
	2	$14,34 \pm 1,90$	$2,40 \pm 0,91$
	3	-	-
	4	-	-



Gambar 4. Pengaruh Variasi Gliserol Terhadap Kuat Tarik Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Glisserol



Gambar 5. Pengaruh Variasi Gliserol Terhadap Elongasi Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Glisserol

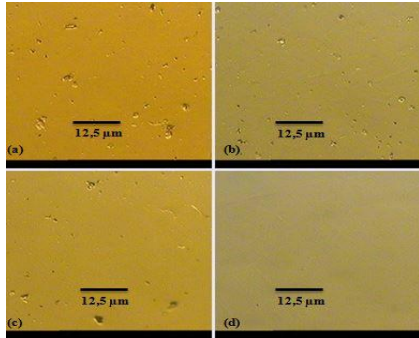
Gambar 4 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya volume dan konsentrasi gliserol yang ditambahkan pada hidrogel kitosan-glutaraldehyd maka nilai kuat tarik dari hidrogel tersebut semakin menurun. Untuk hidrogel dengan penambahan gliserol 2% sebanyak 3 ml dan 4 ml tidak dapat dilakukan uji tarik karena hidrogel tersebut sangat lengket dan tidak dapat dipreparasi. Hal ini disebabkan karena penambahan gliserol yang berlebih akan menyebabkan lapisan tipis menjadi lunak dan lengket sehingga sukar diangkat dari cetakan karena gliserol lebih bersifat mengikat air dan

melunakkan permukaan. Selain itu, penambahan gliserol yang sudah melebihi batas plastisasi menyebabkan molekul pemlastis yang berlebih berada pada fase tersendiri diluar fase hidrogel [21]. Keadaan tersebut mengakibatkan penurunan gaya intermolekul antar rantai. Penambahan *plasticizer* yang berlebihan akan menyebabkan plastisasi tidak efisien lagi [22].

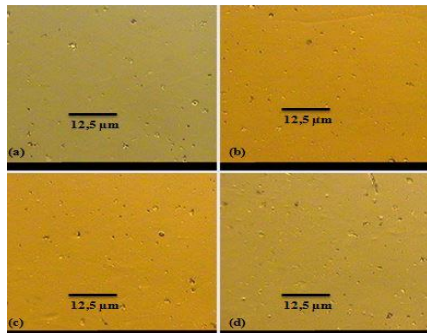
Menurut Park *et al.* [23], bentuk, jumlah atom karbon dalam rantai, dan jumlah gugus hidroksil yang terdapat pada molekul *plasticizer* akan mempengaruhi sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi) suatu film. *Plasticizer* akan menurunkan ikatan hidrogen dalam film sehingga meningkatkan fleksibilitas dari film dimana dengan meningkatnya fleksibilitas maka kuat tarik dari film tersebut akan semakin kecil [24]. Selain itu, berkurangnya gaya antarmolekul tersebut juga menyebabkan struktur film yang dibentuk menjadi lebih halus dan fleksibel. Hal ini memungkinkan karena gliserol merupakan molekul hidrofilik kecil yang dapat dengan mudah masuk di antara rantai molekul dan membentuk ikatan hidrogen amida dengan protein sehingga terjadi ikatan silang antara kitosan dengan gliserol yang mampu memperbaiki sifat mekanik film dibandingkan dengan film tanpa penambahan gliserol [21]. Hal ini sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 5, dimana dengan meningkatnya volume dan konsentrasi *plasticizer* gliserol yang ditambahkan pada hidrogel kitosan-glutaraldehyd maka elongasi dari hidrogel tersebut akan semakin meningkat pula dengan nilai kuat tarik yang semakin menurun.

Hidrogel kitosan-glutaraldehyd-glisserol dapat digunakan sebagai material medis sebagai penutup luka jika memenuhi standar sifat mekanik tertentu yang mendekati sifat mekanik kulit. Menurut Svensson *et al.* [25], standar mekanik kulit untuk tendon memiliki nilai kuat tarik antara 5-15 MPa. Sedangkan menurut Maganaris *et al.* [26], standar mekanik kulit untuk tumit memiliki nilai kuat tarik antara 0,3-25 MPa dan elongasi antara 1-25 %. Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka hidrogel kitosan-glutaraldehyd-glisserol dengan perbandingan 50:3:2 (v/v) untuk konsentrasi gliserol 2% dipilih sebagai sampel terbaik karena memiliki nilai kuat tarik sebesar $14,34 \pm 1,90$ MPa dan elongasi sebesar $2,40 \pm 0,91$ % sehingga masuk dalam *range* sebagai material medis penutup luka yang mendekati sifat mekanik kulit menurut Svensson *et al.* [25] dan Maganaris *et al.* [26], dimana penutup luka tersebut dapat diaplikasikan pada tendon dan tumit manusia.

HASIL UJI MORFOLOGI



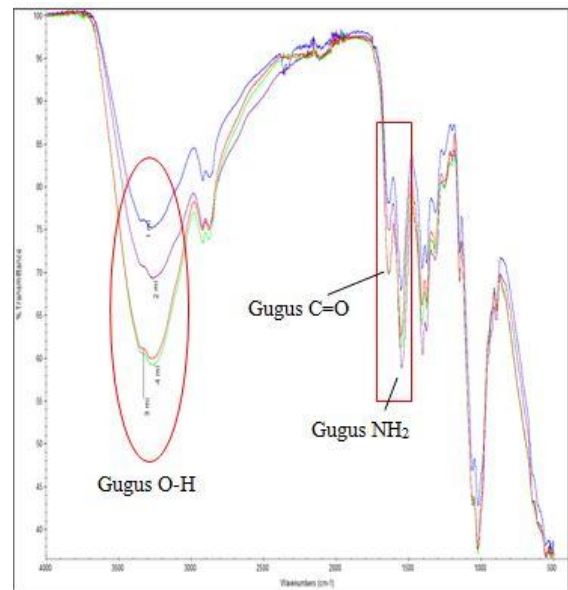
Gambar 6. Hasil Uji Morfologi Permukaan Hidrogel Kitosan-Glutaraldehid-Glislerol dengan Konsentrasi Gliserol 1% dan Variasi Penambahan Gliserol : (a) 1 ml (b) 2 ml (c) 3 ml (d) 4ml. Perbesaran 57x



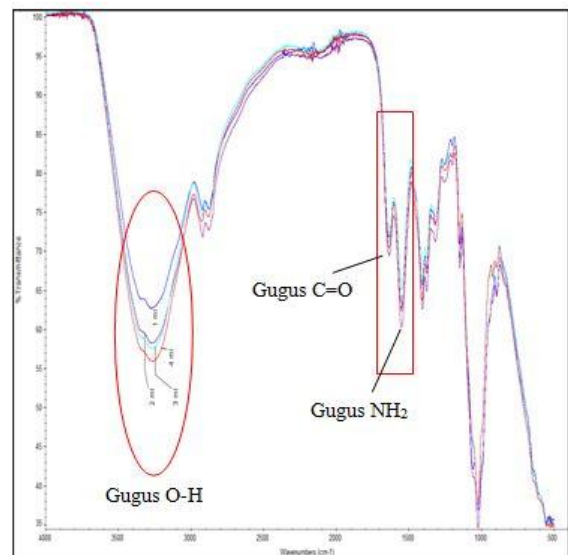
Gambar 7. Hasil Uji Morfologi Permukaan Hidrogel Kitosan-Glutaraldehid-Glislerol dengan Konsentrasi Gliserol 2% dan Variasi Penambahan Gliserol : (a) 1 ml (b) 2 ml (c) 3 ml (d) 4ml. Perbesaran 57x

Pada pembahasan sebelumnya telah dijelaskan bahwa penambahan *plasticizer* akan menyebabkan struktur film yang dibentuk menjadi lebih halus dan fleksibel. Hal ini terlihat pada Gambar 6 dimana dengan semakin meningkatnya volume *plasticizer* gliserol yang ditambahkan maka struktur permukaan juga terlihat lebih halus dibandingkan yang lain, tetapi hal ini tidak terlihat pada Gambar 7. Adanya perbedaan tersebut dikarenakan penambahan *plasticizer* gliserol telah melebihi batas kompatibel sehingga menyebabkan plastisasi tidak efisien lagi [22]. Penambahan gliserol yang sudah melebihi batas plastisasi menyebabkan molekul pemlastis yang berlebih berada pada fase tersendiri diluar fase hidrogel [21]. Hal ini dapat terlihat pada Gambar 7, dimana struktur permukaannya kurang halus dan terlihat kurang homogen dalam persebaran masing-masing komposisinya.

HASIL UJI FT-IR



Gambar 8. Hasil Uji FT-IR Kitosan-Glutaraldehid-Glislerol untuk Konsentrasi Gliserol 1%



Gambar 9. Hasil Uji FT-IR Kitosan-Glutaraldehid-Glislerol untuk Konsentrasi Gliserol 2%

Berdasarkan hasil spektroskopi IR hidrogel kitosan-glutaraldehid-glislerol yang didapat dari berbagai variasi komposisi volume gliserol di atas, terlihat adanya interaksi antara kitosan-glutaraldehid-glislerol dalam membentuk hidrogel. Hal ini dapat dilihat dari adanya perubahan serapan yang terjadi pada daerah bilangan gelombang $3500-3330\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus O-H. Selain itu, daerah bilangan gelombang $1820-1540\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus C=O dan daerah bilangan gelombang $1730-1580\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus NH_2 identik satu sama lain. Dengan semakin meningkatnya volume gliserol yang ditambahkan maka persen gugus O-H yang ditransmisikan semakin berkurang, yang berarti gugus tersebut banyak mengalami ikat silang. Hal ini memungkinkan karena selain kitosan mengalami ikat silang dengan glutaraldehid (ikat silang terjadi pada gugus C=O dan gugus NH_2 [3]), kitosan juga

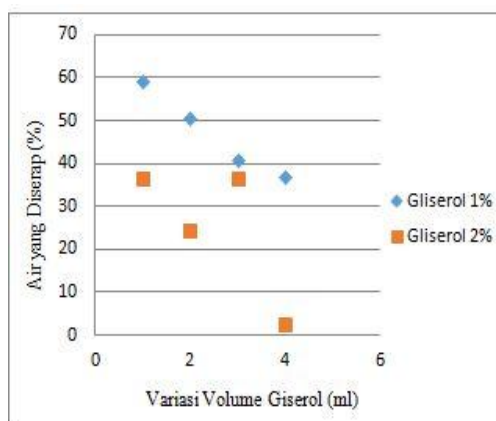
mengalami ikat silang dengan gliserol melalui interaksi antara gugus hidroksil kitosan dan gliserol oleh ikatan hidrogen [27].

Selain gugus O-H, gugus NH₂, dan gugus C=O, gugus fungsi lain yang terdapat dalam hidrogel kitosan-glutaraldehyd-gliserol ini adalah gugus ester (C-O) pada daerah bilangan gelombang 1300-1000 cm⁻¹. Dengan dimilikinya gugus fungsi tersebut maka film bersifat dapat terdegradasi [28]. Penambahan variasi volume gliserol bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk akibat dari pencampuran antara kitosan-glutaraldehyd-gliserol yang membentuk hidrogel. Tetapi jika dilihat dari analisis hasil spektroskopi IR hidrogel kitosan-glutaraldehyd-gliserol, belum ada gugus fungsi baru yang terbentuk. Hal ini berarti hidrogel kitosan-glutaraldehyd-gliserol yang dihasilkan merupakan proses *mechanical mixture* sehingga hidrogel tersebut memiliki sifat seperti komponen penyusunnya.

HASIL UJI KETAHANAN TERHADAP AIR

Tabel 3. Data Pengukuran Rata-Rata Ketahanan Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Gliserol terhadap Air

Konsentrasi Gliserol (%)	Variasi Gliserol (ml)	Air yang Diserap (%)
1	1	59,46 ± 16,18
	2	51,06 ± 12,18
	3	41,11 ± 15,60
	4	37,23 ± 9,38
2	1	36,73 ± 11,52
	2	24,78 ± 6,57
	3	36,71 ± 7,75
	4	2,59 ± 1,32



Gambar 10. Pengaruh Variasi Gliserol Terhadap Persen Air yang Diserap Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Gliserol

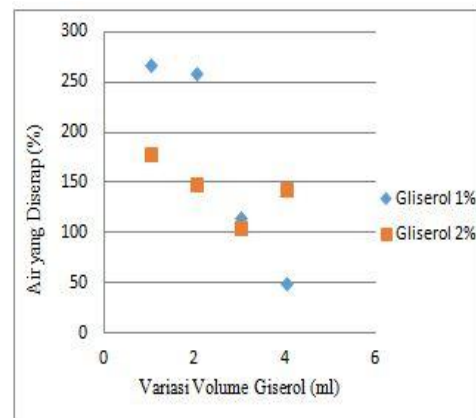
Gambar 10 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya volume dan konsentrasi gliserol yang ditambahkan pada hidrogel kitosan-glutaraldehyd maka nilai ketahanan hidrogel tersebut terhadap air semakin menurun. Adanya penurunan penyerapan air tersebut dikarenakan semakin banyak gliserol yang ditambahkan ke dalam campuran hidrogel maka akan semakin banyak pula gliserol yang berikatan silang dengan gugus O-H yang dimiliki hidrogel kitosan-glutaraldehyd. Hal ini didukung oleh hasil FT-IR dari

hidrogel dimana dengan semakin meningkatnya gliserol yang ditambahkan maka persen gugus O-H yang ditransmisikan semakin kecil, yang berarti gugus tersebut telah banyak mengalami ikat silang. Banyaknya gugus O-H yang dimiliki sangat memungkinkan film untuk berikatan dengan air [28], sehingga jika semakin banyak gugus O-H yang mengalami ikat silang maka kemampuan suatu film untuk berikatan dengan air semakin menurun.

Hasil Uji Kemampuan Absorpsi

Tabel 4. Data Pengukuran Rata-Rata Kemampuan Absorpsi Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Gliserol

Konsentrasi Gliserol (%)	Variasi Gliserol (ml)	Air yang Diserap (%)
1	1	268,21 ± 10,80
	2	260,46 ± 25,83
	3	116,51 ± 9,38
	4	50,12 ± 5,96
2	1	178,97 ± 6,82
	2	149,65 ± 22,46
	3	105,05 ± 5,46
	4	144,44 ± 16,19



Gambar 11. Pengaruh Variasi Gliserol Terhadap Kemampuan Absorpsi Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd-Gliserol

Hidrogel merupakan suatu jaringan rantai polimer hidrofilik yang saling terikat silang satu sama lain dan memiliki kemampuan absorpsi yang tinggi hingga lebih dari 99,9% [4]. Gambar 11 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya volume dan konsentrasi gliserol yang ditambahkan pada hidrogel kitosan-glutaraldehyd maka nilai kemampuan hidrogel tersebut untuk mengabsorpsi cairan semakin menurun, namun masih dapat disebut sebagai hidrogel dari segi kemampuan absorpsinya, kecuali untuk hidrogel dengan penambahan gliserol 1% sebanyak 4 ml. Sama seperti uji ketahanan hidrogel terhadap air, adanya penurunan kemampuan absorpsi hidrogel tersebut dikarenakan semakin banyak gliserol yang ditambahkan ke dalam campuran hidrogel maka akan semakin banyak pula gliserol yang berikatan silang dengan gugus O-H yang dimiliki hidrogel kitosan-glutaraldehyd. Hal ini didukung oleh hasil FT-IR dari hidrogel dimana dengan semakin meningkatnya gliserol yang ditambahkan maka persen gugus O-H yang ditransmisikan semakin kecil, yang berarti gugus

tersebut telah banyak mengalami ikat silang. Banyaknya gugus O-H yang dimiliki sangat memungkinkan film untuk berikatan dengan air [28], sehingga jika semakin banyak gugus O-H yang mengalami ikat silang maka kemampuan suatu film untuk berikatan dengan air semakin menurun.

KESIMPULAN

Penambahan *plasticizer* gliserol dengan variasi 1 ml – 4 ml untuk konsentrasi gliserol 1% dan gliserol 2% berpengaruh pada karakteristik sifat mekanik dan sifat fisik hidrogel kitosan-glutaraldehyd-gliserol. Penambahan ini menyebabkan ketebalan menurun, kuat tarik menurun, kemampuan absorpsi cairan hidrogel menurun, elongasi meningkat, ketahanan hidrogel terhadap air meningkat, serta struktur permukaan hidrogel semakin halus. Karakteristik hidrogel kitosan-glutaraldehyd-gliserol yang terbaik karena memenuhi standar untuk diaplikasikan sebagai penutup luka ditunjukkan oleh hidrogel dengan penambahan gliserol 2% sebanyak 2 ml dimana hidrogel ini memiliki ketebalan sebesar $75,6 \pm 1,0$, kuat tarik sebesar $14,34 \pm 1,90$ MPa, elongasi sebesar $2,40 \pm 0,91$ %, ketahanan terhadap air sebesar $24,78 \pm 6,57$, mampu mengabsorpsi cairan sebesar $149,65 \pm 22,46$, serta struktur permukaannya halus dan homogen sehingga dapat diaplikasikan sebagai penutup luka.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih sedalam-dalamnya kepadasesua pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Sudheesh Kumar, P.T., Nair, S.V., Tamura, H., 2011, *Biomaterials based on chitin and chitosan in wound dressing applications*, Doi: 10.1016/j.biotechadv.2011.01.005.
- Neto, C. G. T., Giacometti, J., Job, A., Ferreira, F., Fonseca, J., & Pereira, M., 2005, *Thermal analysis of chitosan based networks*, Carbohydrate Polymers, 62(2), 97–103.
- Rohindra, D.R., Ashveen V. Nand., Jagjit R. Khurma, 2004, *Swelling Properties of Chitosan Hydrogel*, The South Pacific Journal of Natural Science 22(1) 32.35.
- Erizal, Redja, I Wayan, 2010, *Sintesis Hidrogel Superabsorben Polietilen Oksida-Alginat dengan Teknik Radiasi Gamma dan Karakterisasinya*, Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia, 8, 11-17.
- Istiqomah, N., 2012, *Pembuatan Hidrogel Kitosan-Glutaraldehyd Untuk Aplikasi Penutup Luka Secara In Vivo*, Skripsi, Program Studi Teknobiomedik FSAINTEK, Universitas Airlangga : Surabaya.
- Widyatama, D., 2011, *Efektifitas Kombinasi Glutaraldehyd dan Didecil Dimetil Amonium Klorida Sebagai Desinfektan Terhadap Penurunan Jumlah Bakteri Pada Kandang Ayam Layer*. Universitas Airlangga: Surabaya.
- Jameela, S.R., Misra, A., Jayakrishnan, A., 1994, *Crosslinked Chitosan Microsphere as Carriers for Prolonged Delivery of Macromolecular Drugs*, Journal of Biomaterial Science, Polymer Education, 6, 621-631.
- Hu, H., Xin, H.J., Hu, H., Chan, A., He, L., 2012, *Glutaraldehyde-Chitosan and Poly (vinyl alcohol) Blends, and Fluorescence of Their Nano-Silica Composite Films*, Carbohydrate Polymers, 91 (2013) : 305-313.
- Andreas, H., In Gachter, R., and Muller, H., 1990, *PVC Stabilizer and Plastics Additives Handbook*, Germany : Hanser Publishers, Munich.
- Yudi, Garnida, 2006, *Respon Buah Durian Terhadap Minimal Akibat Pengaruh Formulasi Bahan Edible Coating dan lama Penyimpanan Pada Suhu Beku*, Disertasi Program Pascasarjana, Universitas Padjadjaran : Bandung.
- Cerqueira, Miguel A., Alvaro M. Lima., dkk, 2009, *Suitability of Novel Galactomannans as Edible Coatings for Tropical Fruits*, Journal of Food Engineering 94 (2009) 372–378.
- Van Vlack, L.H., 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi ke-5, Alih Bahasa : Japrie Sriati, Erlangga : Jakarta.
- Wardhani, R.A.K., 2012, *Sintesis dan Karakterisasi Bioselulosa–Kitosan Dengan Penambahan Gliserol Sebagai Plasticizer*, Skripsi, Program Studi Fisika FSAINTEK, Universitas Airlangga : Surabaya.
- Baran, E.T., Mano, J.F., Reis, R.L., 2004, *Starch-Chitosan Hydrogels Prepared by Reductive Alkylation Cross-linking*, Journal of Materials Science : Materials in Medicine 15 (2004) 759-765.
- Singh, A., S.S. Narvi., P.K. Dutta N.D. Pandey, 2005, *External Stimuli Response on a Novel Chitosan Hydrogel Crosslinked with Formaldehyde*. Bull. Mater.Sci., Vol. 29 No. 3, June 2006, pp. 233-23, Indian Academy of Science 233.
- Suptijah, P., Salamah, E., Sumaryanto, H., Purwaningsih, S., Santoso, J., 1992, *Pengaruh Berbagai Isolasi Kitin Kulit Udang Terhadap Mutunya*, Laporan Penelitian, Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- Baroni, P., Vieira, R.S., Meghetti, E., Silva, M.G.C., Beppu, M.M., 2008, *Evaluation of Batch Adsorption of Chromium Ions on Natural and Crosslinked Chitosan Membranes*, Journal of Hazardous Materials, 152, 1155-1163.
- Monteiro, O.A.C, Airoldi, C., 1999, *Some Studies of Crosslinking Chitosan–Glutaraldehyde Interaction in Homogeneous System*, Int J Biol Macromol 26, 119-128.

- Janjarasskul, T., Krochta, J.M., 2010, *Edible Packaging Materials*, The Annual Review of Food Science and Technology 1, 415–448.
- McHugh, T.H., Aujard, J.F., and Krochta, J.M., 1994, *Plasticized Whey Protein Edible Films: Water Vapor Permeability Properties*, Journal of Food Science, 59(2) : 416-419.
- Harsunu, B.T., 2008, *Pengaruh Konsentrasi Plasticizer Gliserol dan Komposit Khitosan dalam Zat Pelarut Terhadap Sifat Fisik Edible Film dari Khitosan*, Skripsi, Program Studi Teknik Kimia FT, UI : Jakarta.
- Kemalasari, E., 2010, *Karakteristik Mikrobiologi dan Biodegradasi Edible Film Berbasis Pati Ubi Kayu*, Tesis, Program Studi Kimia FMIPA, USU : Medan.
- Park, K.R., and Nho, Y.C., 2001, *Preparation and Characterization of Gelatin/Chitosan Hydrogel and PVP/Gelatin/Chitosan Hydrogel by Radiation*, Kongop Hwahak, 12, 637-642.
- Krochta, J.M., 1994, *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Pennsylvania: Technomic Publishing Co. Inc.
- Svensson, B. Rene, Hansen, Philip, Hassenkam, Tue, 2011, *Mechanical Properties of Human Patellar Tendon at the Hierarchial Levels of Tendon and Fibril*, Journal of Applied Physics, 112:419-426.
- Maganaris, C.N., Paul, J.P., 1999, *In Vivo Human Tendon Mechanical Properties*, Journal of Physiology 521.1: 307 - 313.
- Leceta, I., Guerrero, K., 2012, *Functional Properties of Chitosan-Based Films*, Journal of Carbohydrate Polymers 93 (2013) 339– 346.
- Darni, Yuli et al, 2009, *Peningkatan Hidrofobisitas dan Sifat Fisik Plastik Biodegradabel Pati Tapioka dengan Penambahan Selulosa Residu Rumpun Laut Euchema Spinossu*, Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, Universitas Lampung : Lampung.

Pengaruh Variasi Komposisi Biokomposit Hidroksiapatit/Kitosan dan Gentamicin terhadap Sifat Makroskopik Untuk Implan tulang

Jan Ady, S.Si, M.Si¹, Desy Puspita Ningrum^{1,2}

¹Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga
puspita.desy0711@gmail.com

Abstrak

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan variasi konsentrasi HA sebesar (10-60) % menggunakan komposit nano-hidroksiapatit/kitosan dengan hasil yang tidak sesuai dengan literatur sebagai implan tulang karena komposit nano-hidroksiapatit/kitosan memiliki sifat biokompatibel terhadap jaringan dan memiliki kekurangan pada sifat makroskopiknya. Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi HAp terhadap sifat makroskopik HAp-kitosan-gentamicin serta mengetahui perbandingan hidroksiapatit-kitosan-gentamicin dengan cara meningkatkan konsentrasi HA agar diperoleh biokomposit dengan karakter terbaik untuk implan tulang. Hasil dari penelitian ini adalah variasi komposisi HA pada sampel HA/CS/g mempengaruhi sifat mekanik dan sifat fisis sampel HA/CS/g, dimana penambahan ini menyebabkan densitas, kekerasan serta kuat tekan meningkat dan berbanding terbalik dengan porositasnya. Adapun karakteristik sampel HA/CS/g yang terbaik ditunjukkan pada sampel dengan penambahan HA sebesar 90%, dimana sampel ini memiliki densitas sebesar 3,01 g/cm³, porositas 13,97%, kekerasan 9,87 VHN, serta kuat tekan sebesar 26,44 MPa, sehingga dapat memenuhi standart untuk diaplikasikan dalam bidang medis.

Kata kunci: Hidroksiapatit, Kitosan, Gentamicin, Sifat fisis, Sifat mekanik, Implan tulang

Abstract

In previous research, have been carried out by varying the concentration of HA (10-60) % using composite nano-hydroxyapatite / chitosan with results that are inconsistent with the literature as bone implants because nano-hydroxyapatite / chitosan composite have biocompatible properties of the network and have shortcomings in nature of macroscopic . The purpose of this study was to determine the effect of variations of HAp in the composition of the macroscopic properties of HAp - chitosan - gentamicin and determine the ratio of chitosan - hydroxyapatite - gentamicin by increasing the concentration of HA in order to obtain the best character for biocomposite bone implant . The results of this study are variations of HA composition in the sample HA / CS / g affect the mechanical properties and physical properties of the sample HA / CS / g , where the addition of lead to density, hardness and compressive strength increased and inversely proportional to the porosity. The sample characteristics of HA / CS / g is best shown in the sample with the addition of HA by 90 % , which is sample has a density of 3.01 g/cm³ , porosity 13.97 % , 9.87 VHN hardness and compressive strength at 26 , 44 MPa , so as to meet the standard to be applied in the medical field .

Keywords : Hydroxyapatite , Chitosan , Gentamicin , physical properties , mechanical properties , Bone Implant.

PENDAHULUAN

Implan tulang merupakan solusi terbaik dari dunia medis untuk mengatasi permasalahan patah tulang akibat kecelakaan ataupun karena penyakit lainnya yang sering kali terjadi di masyarakat. Karena kebutuhan akan implan tulang yang semakin meningkat mengakibatkan persediaan implan tulang semakin menipis. Dengan demikian patah tulang menjadi hal yang krusial karena tulang berfungsi sebagai penopang tubuh manusia yang tersusun secara teratur dihubungkan oleh sendi dan digerakan oleh otot, tulang adalah bagian tubuh yang paling keras terbentuk dari sel hidup yang dikelilingi oleh mineral dan zat lentur yang disebut kolagen (Iis Lestari, 2012). teknologi rekayasa bahan seperti pada biomaterial untuk implant tulang sangat diperlukan. Dalam hal ini, penelitian tentang biomaterial untuk aplikasi medis khususnya implantasi tulang merupakan kajian yang menarik untuk dikembangkan.

Terdapat empat jenis biomaterial dalam implantasi tulang yaitu biologi (titanium, stainless steel), biokeramik (Hidroksiapatit, Zink oxide), biopolimer (kitosan, gelatin) dan biomaterial dari bahan komposit (HA/Cs, HA/gelatin). Masing-masing biomaterial implan memiliki kelebihan dan kekurangan. Polimer mempunyai kekuatan mekanik yang sangat rendah dibandingkan tulang. Logam mempunyai keunggulan pada sifat mekanik yaitu ketahanan dan kekuatan, tetapi mereka sangat korosif. Material keramik merupakan material yang sangat kaku dan *brittle*, namun sangat kuat di bawah beban kompresi.

Dapat disimpulkan bahwa biomaterial dari polimer, keramik dan logam dianggap kurang mampu mengatasi permasalahan sebagai bahan implan, maka dibutuhkan biomaterial yang lebih baik dengan sifat yang lebih unggul dalam implantasi tulang dengan cara memproduksi biomaterial dari bahan komposit

(Yildirim, 2004). Biomaterial komposit memberikan kemudahan dalam hal mengatur sifat dan karakteristiknya tetapi sangat sulit dibuat karena sukar memperoleh perbandingan komposisi bahan yang dicampurkan.

Biokeramik hidroksiapatit merupakan jenis biomaterial keramik yang mampu menggantikan mineral jaringan tulang. Hal ini dikarenakan sifat kimia dan struktur hidroksiapatit yang memiliki kemiripan dengan komponen anorganik pada tulang, sehingga mampu untuk menggantikan kandungan Ca (kalsium) dan P (fosfor) (Nabakumar *et. al*, 2009). Sebagai bahan implantasi jaringan tulang, hidroksiapatit telah banyak digunakan sebagai pengganti tulang buatan karena memiliki sifat biokompatibel, bioafinitas, dan osteokonduktivitas yang sangat bagus (Hench, 1998). Penelitian tentang biomaterial komposit berbasis hidroksiapatit pernah dilakukan oleh Smallman (2000). Smallman mendapatkan hasil adanya keterbatasan hidroksiapatit murni yang memiliki sifat rapuh yang tinggi (bersifat getas dan mudah patah).

Keterbatasan sifat mekanik hidroksiapatit sebagai implan tulang dapat diatasi dengan penggabungan hidroksiapatit ke dalam matriks polimer yaitu kitosan. Kitosan merupakan polimer alam yang ditemukan dalam jumlah besar, mempunyai sifat yang sangat baik seperti biokompatibilitas, *bioresorbable*, dan tidak beracun. Penambahan kitosan yang dilakukan dapat meningkatkan kristinitas dan kelenturan serta biokompatibilitas dari HA sebagai komposit polimer dalam tulang, kitosan yang umumnya diperoleh dari proses deasetilasi kitin telah banyak digunakan dalam biomedis implantasi untuk memperbaiki jaringan kolagen tulang (Park *et. al*, 2000; Suh & Matius, 2000). Seiring meningkatnya konsentrasi n-HA pada n-HA/CS akan semakin meningkatkan nilai dari densitas dan kekerasannya. Akan tetapi hal itu berbanding terbalik dengan nilai dari porositas dan kekuatan tekannya. Karakterisasi yang potensial dalam penelitian tersebut yaitu di sekitar konsentrasi n-HA 20%-30 % dimana mampu digunakan sebagai implan tulang gigi berdasarkan sifat densitasnya dan konsentrasi n-HA 50%-60% berdasarkan sifat kekerasannya (Nanang, 2012).

Fokus pada penelitian dilakukan sintesis komposit hidroksiapatit-kitosan (HA/CS). Dan dilakukan penambahan *gentamicin* sebagai *anticeptic* untuk mengurangi adanya bakteri yang ada pada implan tulang. Kitosan dipilih sebagai matriks polimer karena struktur yang sangat berpori dan bertindak sebagai penyerap kation yang baik dan memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap partikel HA (Nabakumar *et. al*, 2009). Sifat makroskopik dari komposit hidroksiapatit/kitosan/*gentamicin* (HA/CS/g) akan dilakukan uji sifat fisis (densitas dan porositas) dan uji mekanik (kekuatan tekan dan kekerasan), FTIR pada setiap variasi komposit hidroksiapatit/kitosan/*gentamicin* (HA/CS/g) 70% - 90%.

TEORI

Tulang atau kerangka merupakan penopang tubuh manusia, tanpa tulang tubuh tidak bisa berdiri

tegak. Selain itu tulang juga berfungsi sebagai pelindung organ dalam tubuh pada manusia. Tulang tersusun atas dua komposisi utama, yaitu matrik yang kaya akan mineral atau disebut juga bahan-bahan anorganik sebesar 55% air sebesar 15%, dan yang kedua yaitu bahan-bahan organik sebesar 30% yang terdiri dari sel osteoblas berfungsi sebagai yang membuat matrik (bahan) tulang atau sel pembentuk tulang (membentuk kolagen monomer pembentukan tulang), osteosit berfungsi untuk mempertahankan matriks tulang dan osteoklas berfungsi untuk menyerap osteoid (95%) (resorpsi) bahan tulang (matrik) atau sel yang menyerap tulang. Matriks organik ini terdiri dari serat-serat kolagen dan medium gelatin homogen dan juga banyak mengandung garam-garam tulang terutama terdiri dari kalsium dan fosfat (Aoki, 1991).

Tulang merupakan sebuah material komposit yang terdiri dari matriks kolagen yang diperkuat oleh kristal hidroksiapatit. Sifat fisis tulang berupa porositas dan kerapatannya bervariasi dan bergantung pada lokasi, pembebanan di daerah tersebut. Kerapatan menentukan sifat mekanik pada tulang dapat berupa kekuatan dan kekakuan tulang yang tumbuh berkembang untuk menahan tubuh yang ada (Smallman, 2007).

HA banyak digunakan dalam dunia ortopedik karena sifat fisis, kimia, mekanis, dan biologisnya sangat mirip dengan komponen utama tulang manusia (Pattanayak *et al*. 2005; Pane 2008). Sifat HA yang paling menarik adalah kemampuan biokompatibilitasnya yang sangat baik. HA mampu berkontak dan menyatu secara kimiawi dengan jaringan tulang (Pane 2008). Selain itu, HA memiliki beberapa sifat yang menonjol lainnya yakni: osteokonduktif, berpori, bioresorbabel, bioaktif, tidak korosi, inert, tahan aus (Samsiah 2009), serta mudah didapatkan dalam jumlah banyak. Komposisi hidroksiapatit murni sebesar 39,68% Ca dan 18,54% P, perbandingan Ca/P sebesar 2,151, perbandingan molar Ca/P sebesar 1,67, dan titik leleh sebesar 1670 °C (Yildirim, 2004).

Kitosan (2-asetamida-deoksi- α -D-glukosa) adalah sebuah biopolimer yang umumnya diperoleh dari proses deasetilasi kitin. Kitin merupakan biopolimer alam paling melimpah kedua setelah selulosa. Senyawa kitin atau (α (1-4)-N-asetil-D-glukosamin) dapat dipertimbangkan sebagai suatu senyawa turunan selulosa, gugus hidroksil pada atom C-2 digantikan oleh gugus asetamido. Kitosan merupakan sebuah polisakarida kationik alami dan memiliki sifat *biokompatible*, *biodegradable* yang bagus serta dapat meningkatkan adhesi dan ekspresi fungsional osteoblas karena kesamaannya dengan struktur glikosaminoglikan sehingga kitosan banyak digunakan dalam bidang biomedis (Nabakumar *et. al*, 2009).

Gentamicin adalah jenis polimer alam yang merupakan jenis obat termasuk kelompok *aminoglycoside*. *Gentamicin* ini merupakan antibiotik yang bekerja dengan cara memperlambat pertumbuhan atau membunuh *bacteria* sensitif dalam tubuh. *Gentamicin* efektif untuk menghambat bakteri penyebab infeksi kulit primer maupun sekunder. Fungsi *gentamicin* dalam penelitian ini adalah sebagai

antibiotik agar tidak menimbulkan kontaminasi terhadap lingkungan dengan cara menghilangkan atau meminimalisir bakteri.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yang dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut.

TAHAP I

Pada tahap ini dilakukan pelarutan 2 gram bubuk kitosan (kitosan dari kulit udang) dalam 100 ml asam asetat 3% dan 6 gram asam ortofosforik 85%. Campuran yang diperoleh dipanaskan dengan stirrer $70^{\circ}\text{C} \pm 10$ jam dibawah pengadukan konstan. Larutan didinginkan kemudian diendapkan dalam larutan metanol berlebih dan dicuci dengan aquades sehingga didapat hasil percampuran berupa gel. Gel yang terbentuk dikumpulkan dan didinginkan semalam kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama lebih dari sehari semalam kemudian digerus hingga berbentuk serbuk.

TAHAP II

Pada tahap ini dilakukan dua tahap percampuran, tahap pertama dilakukan pelarutan serbuk kitosan ke dalam HA dengan cara serbuk kitosan dilarutkan dalam air panas, dan kemudian mikro partikel hidroksiapatit ditambahkan secara perlahan-lahan. Sampel uji komposit hidroksiapatit/kitosan (HA/CS) dibuat dengan menambahkan partikel HA masing-masing 70%, 80%, 90%, Campuran yang diperoleh dipanaskan dengan stirrer $70^{\circ}\text{C} \pm 10$ jam dibawah pengadukan konstan. Kemudian dikeringkan pada suhu 70°C selama lebih dari sehari semalam kemudian digerus hingga berbentuk serbuk.

Tahap kedua yaitu dengan melarutkan serbuk HA/CS ke dalam gentamicin dalam mechanical stirrer pada suhu kamar selama 1 jam kemudian gel yang dihasilkan dikeringkan dalam oven 40°C selama sehari. Serbuk komposit yang dihasilkan kemudian dicetak dalam bentuk pelet dengan 4 variasi komposisi yang berbeda.

Tabel 1. Variasi Komposisi Sintesis HA/CS/Gentamicin

Sampe l	HA (%)	HA (gram)	Kitosa n (gram)	Gentamici n (gram)	Komposi t HA/CS (gram)
A	70	1,4	0,6	-	2
B	70	1,4	0,6	0,2	2
C	80	1,6	0,8	0,2	2
D	90	1,8	0,2	0,2	2

TAHAP III

Pada tahap ini masing-masing sampel dilakukan karakterisasi meliputi uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada sampel, uji fisis meliputi uji densitas untuk mengetahui kerapatan sampel dan uji porositas untuk mengetahui porus sampel serta dilakukan uji mekanik meliputi uji kuat tekan dan kekerasan pada sampel.

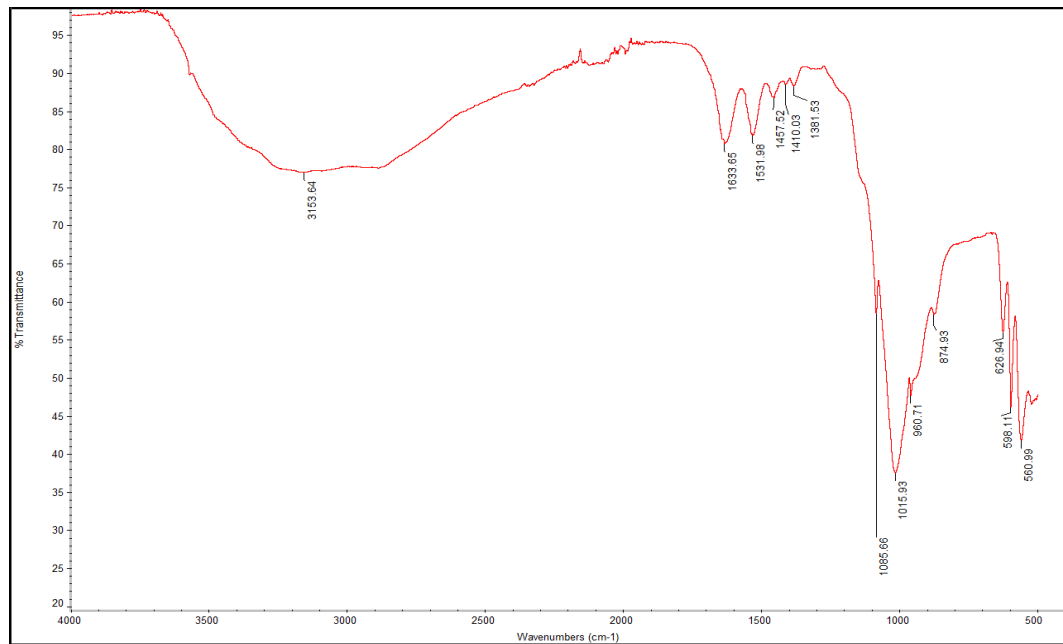
HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL KARAKTERISASI FTIR

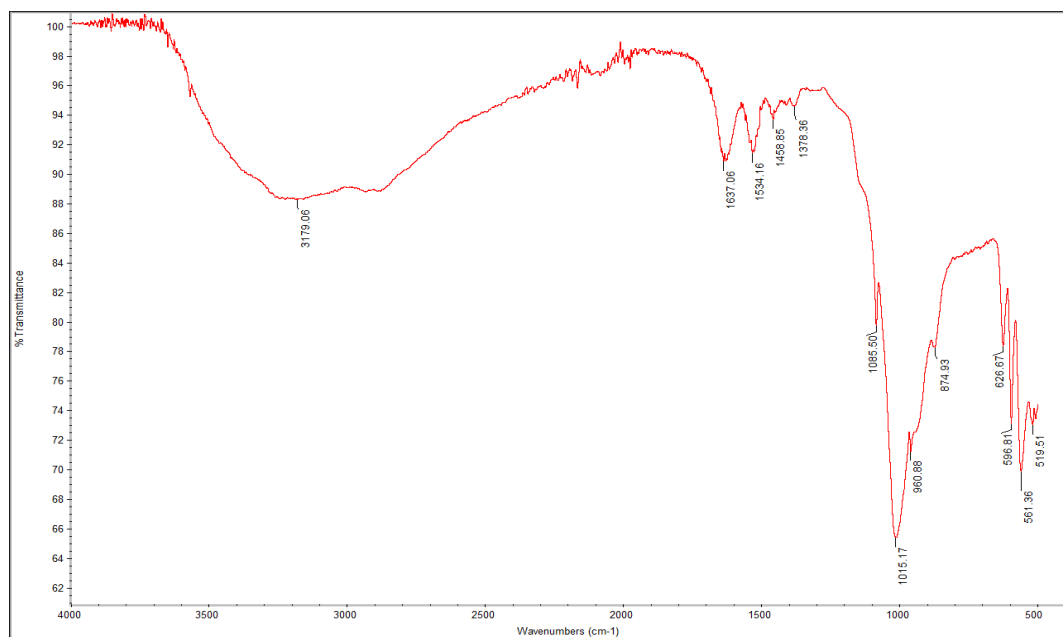
Analisis serapan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung. Spektrum transmitansi IR sampel diperlihatkan pada Gambar 2 sampai dengan gambar 4 dan Tabel 2 memperlihatkan bilangan gelombang gugus-gugus fungsi yang dimiliki oleh keempat sampel.



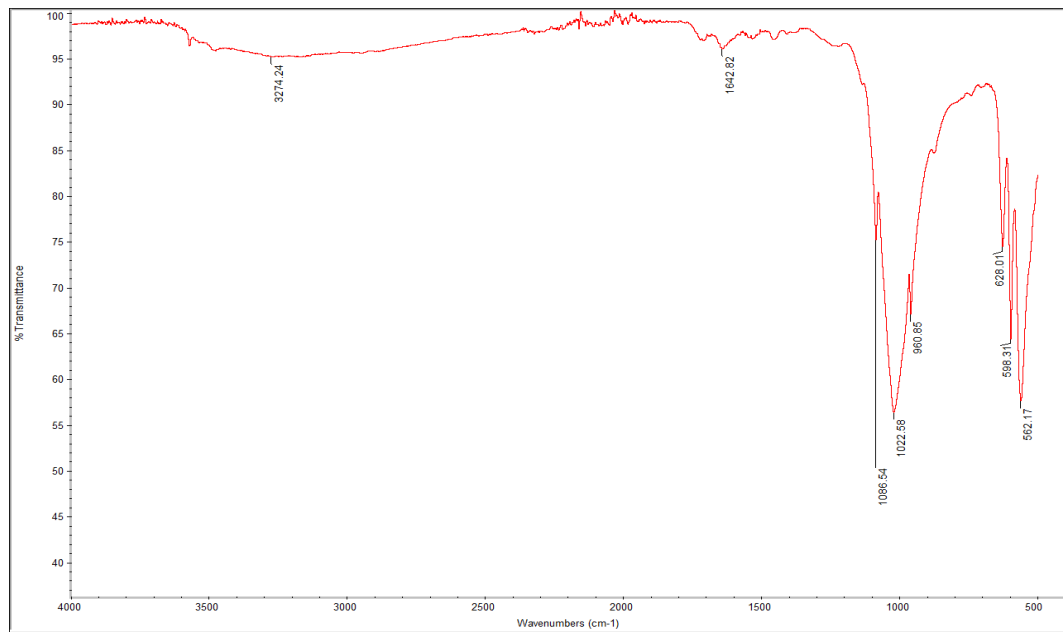
Gambar 1 Pola FTIR Sampel Uji A HA (70%) + CS (30%)



Gambar 2 Pola FTIR Sampel Uji B HA (70%) + CS (30%) + *gentamicin*



Gambar 3 Pola FTIR Sampel Uji C HA (80%) + CS (20%) + *gentamicin*



Gambar 4 Pola FTIR Sampel Uji DHA (90%) + CS (10%) + *gentamicin*

Tabel 2. Pola Pita absorpsi sampel Uji FTIR

Sampel	Pita Absorpsi					
	PO ₄	C = C	O - H	Amida II	PO ₄ bending	Gugus CaCO ₃
A	1086.33	1641.16	-	1542.01	561.79	874.93
B	1085.66	1633.65	3153.64	1551.98	560.99	874.93
C	1085.5	1637.06	3179.06	1534.16	562.17	874.93
D	1086.54	1642.82	3274.24	-	562.17	960.85

Pada tabel 2 memperlihatkan gugus yang terbentuk dari keempat sampel. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa, telah terbentuk gugus PO₄, gugus karbonat serta gugus O – H yang artinya bahwa keempat sampel tersebut telah terbentuk HA (Jannatika, 2013). Dengan masing-masing nilai untuk nilai bilangan gelombang Gugus Fosfat sebesar 1086,33 cm⁻¹ dengan fosfat bending sebesar 561,79 cm⁻¹ amida II sebesar 1542,01 cm⁻¹ pada sampel A. Sampel B bilangan gelombang gugus fosfat sebesar 1085,66 cm⁻¹, gugus hidroksil sebesar 3153,64 cm⁻¹ serta terdapat gugus Amida II sebesar 1551,98 cm⁻¹.

Sampel C dengan konsentrasi HA 80% menghasilkan bilangan gelombang pada gugus fosfat sebesar 1085,5 cm⁻¹, gugus hidroksi sebesar 3179,06 cm⁻¹ dan gugus amida II dengan bilangan gelombang sebesar 1534,16 cm⁻¹. Sedangkan pada sampel D memiliki gugus fosfat sebesar 1086,54 cm⁻¹ dan gugus amida II sebesar 3274,24 cm⁻¹, pada sampel C dan D memiliki nilai bilangan gelombang pada gugus fosfat bending sebesar 562,17 cm⁻¹.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa dari pencampuran HA/Cs/*Gentamicin* tidak ditemukan adanya gugus fungsi baru. Tetapi sulit membedakan antara gugus kitosan dan *gentamicin* karena keduanya sama-sama memiliki gugus hidroksil dan Amida.

KARAKTERISASI SIFAT FISIS

Karakterisasi densitas dilakukan dengan mengukur massa sampel menggunakan neraca analitik dan volume sampel diukur menggunakan mikrometer skrup. Data yang diperoleh dari karakterisasi ini yaitu diameter sampel, tinggi sampel dan massa sampel. Karakterisasi densitas dilakukan dengan massa sampel dibagi dengan volume sampel.

Tabel 3. Data Hasil Uji Densitas

Kode Sampel	Konsentrasi HA	$\text{densitas} \left(\frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \right)$
A	70%-G	2,55
B	70%	2,66
C	80%	2,81
D	90%	3,01

Nilai densitas pada penelitian ini yang paling optimal yaitu pada konsentrasi 90% dengan nilai densitas sebesar 3,01 gr/cm³. Hasil densitas dari konsentrasi HA 90% menunjukkan nilai yang mendekati

dengan standart literatur yaitu pada tulang kortikal sebesar 3,1-3,2 gr/cm³ (Michael et.al, 2002). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi menunjukkan semakin tinggi nilai kerapatannya.

Karakterisasi Porositas dilakukan dengan membandingkan massa basah sampel dikurangi massa kering kemudian dibagi dengan massa jenis etanol absolut yang dikalikan dengan volume sampel. Sampel yang telah dihasilkan dalam bentuk pelet diukur massanya menggunakan neraca analitik. Kemudian sampel tersebut dimasukkan ke dalam etanol selama sehari semalam dan diukur massa basahanya dengan neraca analitik

Tabel 4. Data Hasil Uji Porositas

KODE SAMPEL	KONSENTRASI HA	POROSITAS (%)
A	70%-G	17,998
B	70%	16,238
C	80%	15,215
D	90%	13,979

Variasi komposisi sampel A, B, C dan D menunjukkan nilai porositas yang semakin menurun. Dengan demikian semakin tinggi nilai densitasnya maka porositas semakin menurun. Hal ini disebabkan karena nilai kerapatannya yang semakin meningkat, sehingga sela ruang kosong pada kitosan diisi oleh hidroksiapatit.

Pada penelitian ini sampel D dinilai yang paling optimal dikarenakan nilai porositas pada sampel D mendekati dengan standart literatur pada tulang kortikal yaitu dengan range nilai 13,97 %, dengan nilai standart aplikasi yaitu sebesar (5,0-10) % (Michael et.al.) hal ini menunjukkan bahwa sela-sela ruang kosong yang tidak diisi oleh hidroksiapatit akan ditumbuhi sel hidup yang mampu menyesuaikan diri sehingga nilai porus akan berkurang dan sesuai dengan besarnya porositas pada tulang kortikal (Jiang Hang pada tahun, 2009)

Karakterisasi Mekanik meliputi uji kekerasan dan uji kuat tekan. Uji kekerasan (*hardness*) dilakukan untuk mengetahui ketahanan sampel terhadap deformasi tekan atau penetrasi yang bersifat tetap (permanen). Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *microvickers hardness*.

Tabel 5. Data Hasil Uji Kekerasan

KODE SAMPEL	KONSENTRASI HA	KEKERASAN N (VH)
A	70%-G	2,1
B	70%	5,73
C	80%	9,067
D	90%	9,867

Pada hasil analisis uji microvickers menunjukkan bahwa konsentrasi HA 70% tanpa *gentamicin* kekerasan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan sampel yang ditambahkan dengan *gentamicin*. Nilai yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 2,1-9,87 HV, sedangkan nilai kekerasan pada tulang kortikal 85-89 VH (Michael et.al, 2002). Hasil dari penelitian ini masih jauh dari literatur hal ini terjadi karena sampel yang berbentuk pelet dengan permukaan yang tidak benar-benar rata mempersulit proses uji karena pada saat

piramida ditekan ke permukaan sampel sulit menentukan batas diagonal-diagonal yang dihasilkan.

Uji kekuatan tekan (*compressive strength*) dilakukan untuk mengetahui tingkat kekuatan sampel terhadap tekanan dari pembebanan dari luar hingga sampel rusak atau patah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *autograph*. Data yang diperoleh disajikan pada tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Data Hasil Uji Kuat Tekan

KODE SAMPEL	KONSENTRASI HA	KUAT TEKAN (MPa)
A	70%-G	9,67
B	70%	17,94
C	80%	25,27
D	90%	26,44

Berdasarkan tabel 6 di atas disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai konsentrasi HA nilai kuat tekan cenderung naik. Selain itu kerapatan sampel yang semakin meningkat mengakibatkan nilai kuat tekan dan kekerasan yang semakin tinggi. Dalam proses melakukan uji tekan permukaan sampel sangat berpengaruh, karena bagian inilah yang akan mengalami penekanan dan menentukan besarnya nilai kuat tekan yang dihasilkan.

Berdasarkan analisis hasil uji kuat tekan, pada penelitian ini sampel yang dihasilkan untuk masing-masing sampel A, B, C dan D nilai yang dihasilkan masih jauh dari literatur yaitu sebesar (17,9-26,44) MPa sedangkan nilai pada literatur sebesar (45-175) MPa untuk tulang tulang kortikal (Michael, et al., 2002). Hal ini terjadi karena perbedaan ukuran sampel komposit HA/Cs/G yang digerus secara manual sebelum dicetak sehingga menyebabkan distribusi ukuran partikel komposit tidak homogen. Nilai kuat tekan yang paling optimal pada penelitian ini yaitu pada sampel D sebesar 26,44 MPa karena mendekati dengan standart aplikasi tulang kortikal sebesar (45-175) MPa

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dengan dilakukan sintesis dan karakterisasi variasi komposisi komposit Hidroksiapatit/kitosan/*Gentamicin* dapat diambil kesimpulan bahwa variasi komposisi hidroksiapatit pada sampel HA/Cs/*Gentamicin* mempengaruhi sifat mekanik dan sifat fisis sampel HA/Cs/G. Penambahan ini menyebabkan nilai densitas meningkat, porositas menurun, kekerasan meningkat serta kuat tekan cenderung meningkat. Karakteristik sampel HA/Cs/G yang terbaik karena memenuhi standart untuk diaplikasikan dalam bidang medis khususnya untuk tulang kortikal ditunjukkan oleh sampel dengan penambahan konsentrasi HA sebesar 90%, dimana sampel ini memiliki nilai densitas sebesar 3,01 gr/cm³, porositas sebesar 13,97%, kekerasan 9,87 VHN serta kuat tekan sebesar 26,44 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adam, 2012. Studi Sitokompatibilitas Nano-Komposit Hidroksiapatit/Kitosan (n-HA/CS). Skripsi S-1, UNAIR, Surabaya.
- [2] Aoki, Hideki. 1991. Science and Medical Application of Hydroxyapatite. JAAS : Tokyo, Japan.
- [3] Aziz, Nather. 2005. Bone Grafts and Bone Substitutes. Singapore. World Scientific Printers (S) Pte Ltd.
- [4] Combe E. C., 1992, Notes and Dental Materials, 6 th edition Churchill Livingstone, Edinburgh, London.
- [5] Irindah. 2012. Sintesis dan karakterisasi Mikroskopik Nano-Komposit Hidroksiapatit/CS untuk Pengisi Jaringan Tulang. Skripsi S-1, UNAIR, Surabaya.
- [6] Nanang. 2012. Sintesis dan karakterisasi Makroskopik Nano-Komposit Hidroksiapatit/CS n-HA untuk Implantasi Tulang. Skripsi S-1, UNAIR, Surabaya.
- [7] Jing, Hang and Ziyu. Zhou. 2009. Alginate-Chitosan/Hydroxyapatite Porous Scaffold. Elsevier Journal.
- [8] Kusumawati, Wheni. 2010. Pengaruh Penambahan Konsentrasi Hidroksiapatit terhadap Karakteristik Komposit Co-Cr. Skripsi S-1, UNAIR, Surabaya.
- [9] L. L. Hench. 1998. Bioceramics, Journal of the American Ceramic Society, vol. 81, pp. 1705–1728.
- [10] Michael, Debra. Kai-Uwe. Hasirci, Vasif. David E. Altobelli. Donald, 2002, Materials in Orthopedic. New York : Marcell Dekker. INC..
- [11] Nabakumar Pramanik, Mishra, Indranil, Tapas Kumar, Parag Bhargava. 2009. Chemical Synthesis, Characterization, and Biocompatibility Study of Hydroxyapatite/Chitosan Phosphate Nanocomposite for Bone Tissue Engineering Applications, International Journal of Biomaterials, Volume Article ID 512417, 8 pages doi:10.1155/2009/512417.
- [12] Nuriana, Wahidin. 2005. Sintesis Titanium-Hidroksiapatit. Disertasi Program Pascasarjana. UNAIR. Surabaya .
- [13] Park, John and Lakes, R.S., 2007. Biomaterials in Introduction. Third edition. Springer. Science and Business Media LLC.
- [14] Park, Joon B. Bronzino, Joseph D. 2003. Biomaterial Principles and Applications. Vol 1. USA : CRC Press.
- [15] Pujiastuti, P. 2001. Kajian Transformasi Khitin Menjadi Khitosan Secara Kimiawi dan Enzimatis. Seminar Nasional Jurusan Kimia, Jurusan Kimia FMIPA UNS, Surakarta
- [16] Rahmah, Janatika. 2013. Pengaruh variasi lama waktu pengadukan pada komposit

- gelatin-hidroksiapatit bergentamicin sebagai bahan implan, FST UNAIR, Surabaya
- [17] Smallman. & A.H.W.Ngan, 2007. Physical Metallurgy and Advanced Materials, Seventh Edition. Elsevier Science and Sabre Foundation Book.
- [18] Susilowati, 2003, Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Sifat Mikro dan Sifat Mekanik Resin Akrilik Tipe Head-Cured, Skripsi S1, UNAIR, Surabaya.
- [19] Triana. Masykur dan Usman. 2004. Synthesis of Chitosan from Chitin of Escargot (*Achatina fulica*). BioFarmasi Journal. Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta
- [20] Van, Vlack L. H. & Djaprie S., 1985, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi Kelima. Jakarta : Erlangga.
- [21] Xuan, Cai. Hua, Tong. 2008. Preparation and Characterization of Homogeneous Chitosan-polyactid acid/Hydroxyapatite for Bone Tissue. Elsevier Journal.
- [22] Yildirim, Oktay. 2004. Preparation and Characterization of Chitosan/Calcium Phosphate Based Composite Biomaterials. [disertasi]. IIT. Turki
- [23] Y. Zhang, M. Zhang, J. Biomed. Mater. Res. 55 (2001) 304–312
- [24] Baht, Sujata V.2002. Biomaterials. Pangbone England: Alpha Science International. Ltd.
- [25] 2 Darwin. D. 2008. Aplikasi Teknik Isotop dan Radiasi pada Pembuatan Biomaterial untuk Keperluan Klinis.<http://nhc.batan.go.id> [3 April 2009: 09.20]
- [26] Samsiah, Robiatuh. 2009. Karakterisasi Biokomposit apatit-kitosan dengan XRD (X-Ray Diffraction), FTIR (Fourier Transform Infrared), SEM (Scanning Electron Microscopy) dan Uji Mekanik. Skripsi. S1, IPB, Bogor.

PEMBENTUKAN JALINAN IKAT SILANG (*CROSS LINKING*) PADA *ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE* (UHMWPE) SEBAGAI KANDIDAT BANTALAN SENDI MENGGUNAKAN RADIASI GAMMA

Mayang Viorita¹, Siswanto², Adri Supardi³

^{1,2,3} Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga
Email : semnasfisika@unair.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian pada *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) yang dipaparkan iradiasi gamma sehingga terbentuk *cross linking* dan dilakukan karakterisasi yang kemudian disesuaikan dengan kriteria bantalan sendi. Penambahan *tocopherol* pada UHMWPE yang telah diradiasi bertujuan untuk mengurangi oksidasi yang terjadi akibat proses iradiasi. UHMWPE dalam bentuk bubuk dibuat dengan metode *hot press* dan *cold press* sehingga terbentuk film tipis. Film UHMWPE dipaparkan iradiasi gamma dengan berbagai variasi dosis iradiasi sebesar 0 kGy, 10 kGy, 20 kGy, 30 kGy, 40 kGy, dan 50 kGy. Lima film tipis yang telah dipaparkan dalam berbagai variasi dosis iradiasi kemudian direndam dalam larutan *tocopherol* 0,5 molar pada suhu 73° C selama 20 menit. Film yang telah diiradiasi gamma dan yang telah diiradiasi gamma dan ditambahkan *tocopherol* dikarakterisasi secara mikroskopis menggunakan *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy* (FTIR) dan secara makroskopis dengan Uji Kekerasan dan Uji Tarik. Hasil analisis FTIR menunjukkan terjadi *cross linking* pada film UHMWPE yang dipaparkan dosis iradiasi 50 kGy yang ditandai adanya gugus *trans* vinil. Nilai kekerasan maksimum sebesar 3,72 VHN diperoleh pada sampel dengan paparan dosis iradiasi 50 kGy. Pada sampel dengan paparan dosis iradiasi 50 kGy didapatkan nilai kuat tarik sebesar 60 MPa, perpanjangan putus sebesar 366,8 %, dan peningkatan modulus elastisitas yaitu 213,878 MPa. Sampel yang telah diradiasi gamma dengan dosis 50 kGy dan ditambahkan *tocopherol* mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 4,56 VHN namun besar kuat tarik, perpanjangan putus, dan modulus elastisitas mengalami penurunan berturut-turut sebesar 49,5 MPa, 300,4 % dan 205,479 MPa. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan UHMWPE yang telah diiradiasi gamma dan yang telah diiradiasi gamma dan ditambahkan *tocopherol* belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi.

Kata kunci : UHMWPE, iradiasi gamma, *tocopherol*, FTIR, uji kekerasan uji tarik, bantalan sendi.

PENDAHULUAN

Osteoarthritis atau penyakit sendi degeneratif merupakan kondisi kompleks yang memberi efek pada kartilago serta bagian lain dari struktur sendi (Degroot *et al*, 2002). Menurut World Health Organization (WHO), 80% penderita *osteoarthritis* memiliki banyak keterbatasan, dengan 25% diantaranya tidak mampu untuk melakukan aktivitas sehari-hari (WHO, 2003). Oleh karena itu, operasi penggantian sendi diperlukan untuk mengurangi gejala penyakit pengapuran sendi (Jordan *et al*, 2003) dengan cara mengganti sendi lutut menggunakan prostetik (Hong Li *et al*, 2010), dimana UHMWPE dimanfaatkan sebagai bantalan sendi. Telah banyak penelitian yang memanfaatkan UHMWPE sebagai *tibial tray* (Lee *et al*, 2007) karena memiliki ketahanan yang paling baik diantara polimer lainnya namun memiliki harga jual yang tinggi (Rosario S.C. dan Silva LGA, 2006). Selain itu, UHMWPE merupakan bantalan material paling relevan yang digunakan untuk penggantian sendi dan pinggul berdasarkan sifat fisik, kimia, dan mekanik, serta biokompatibilitas (Lewis G., 2001).

Namun, pemanfaatan UHMWPE sebagai bantalan sendi dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan penurunan ketahanan aus dan sifat mekanik material tersebut akibat adanya proses oksidasi (Harris WH, 2001). Untuk menutupi kekurangan tersebut, dilakukan pemaparan radiasi gamma terhadap UHMWPE (Mc Kellop *et al*, 1999) sehingga terbentuk jalinan ikat silang yang mampu meningkatkan sifat mekanik material (Oral dan Muratoglu, 2007). Sisa radikal bebas akibat radiasi gamma yang tidak stabil

dapat berpotensi mengalami oksidasi sehingga mempengaruhi kekuatan material UHMWPE (Sutula LC *et al*, 1995). Maka dilakukan penambahan *tocopherol* sebagai antioksidan pada UHMWPE yang telah diiradiasi gamma (Haider *et al*, 2012).

Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)

UHMWPE yang digunakan dalam aplikasi ortopedi merupakan tipe polimer yang secara umum diklasifikasikan sebagai homopolimer linier dengan sifat fisik (Tabel 1) dan mekanik yang bagus. UHMWPE merupakan rantai molekuler yang terdiri dari 200.000 etilen berulang dan mengandung hingga 400.000 atom karbon (Edidin A.A, dan Kurtz, S.M., 2000).

Jalinan Ikat Silang pada UHMWPE

Jalinan ikat silang menghubungkan dua atau lebih rantai molekuler oleh ikatan kovalen. Jalinan ikat silang pada rantai polimer hanya terjadi pada fase amorf UHMWPE, menghubungkan antar rantai polimer. Radiasi sinar gamma memiliki energi yang cukup besar untuk memecah ikatan kimia C-C dan C-H pada UHMWPE (Jacobson, Swedish Corrosion Institute). Ketika terkena radiasi pengion dalam hal ini radiasi gamma, dua perubahan struktural terjadi pada UHMWPE. Pertama adalah pemotongan rantai C-C dan kedua adalah dari radikal bebas (yang dihasilkan oleh kerusakan dari rantai C-H) yang satu sama lain membentuk ikatan silang antara rantai molekul berdekatan.

Uji FTIR

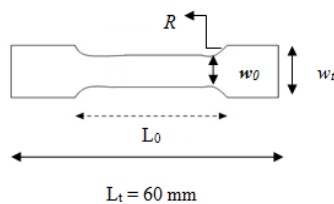
Uji FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk setelah dilakukan iradiasi dan penambahan *tocopherol*. Sampel yang sudah berbentuk film dipotong dengan dimensi $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 0,4\text{ mm}$ dan dilakukan pengujian FTIR. Hasil uji FTIR berupa kurva absorbansi dan dilakukan analisis gugus fungsi yang ditinjau dari bilangan gelombang.

Uji Kekerasan

Ketentuan bahan uji dengan pengujian *micro vickers hardness* yaitu permukaan sampel yang harus halus dan rata. Pengukuran kekerasan dilakukan pada lima titik penetrasi yang berbeda. Gaya pembebanan yang digunakan untuk mengukur kekerasan UHMWPE sebesar 0,5 Kgf yang setara dengan 4,903 N. Waktu penetrasi pada permukaan sampel selama 4 detik menyebabkan timbulnya berkas-berkas diagonal yang dapat dilihat menggunakan mikroskop optik. Dari uji kekerasan diperoleh nilai d_1 (panjang diagonal piramid 1), d_2 (panjang diagonal piramid 2), F (gaya pembebanan), dan VHN (*Vickers Hardness Number*).

Uji Tarik

Sampel dibentuk dumbbell (Gambar 2) dengan t (tebal) = 0,4 mm, w_0 (lebar) = 5 mm, w_t = 10 mm, R = 5 mm, dan L_0 (panjang mula-mula) = 30 mm. Setelah itu dilakukan pengujian menggunakan *autograph*, bahan uji dijepit pada *load cell autograph*. *Load cell* ditarik dengan menekan tombol *start* kemudian *up*. *Autograph* secara otomatis merekam perubahan panjang (ΔL) dan besar gaya yang menarik bahan uji. Kedua nilai tersebut ditampilkan pada layar LCD yang ada pada *autograph*. Setiap perubahan panjang 5 mm dilakukan pencatatan gaya yang menarik bahan uji hingga bahan uji mengalami *fracture*.



Gambar 2. Sampel UHMWPE

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Uji FTIR

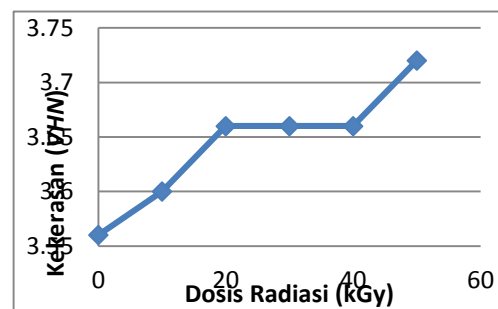
Uji FTIR (Tabel 3) dapat mengetahui terbentuknya *crosslinking* dengan identifikasi puncak bilangan gelombang dan gugus fungsi kelompok trans vinil (Spiegelberg, Cambridge Polymer Group Inc.). Polimer yang diradiasi akan mengalami perubahan struktur dengan diawali terbentuknya radikal. Radikal utama yang terbentuk merupakan *alkyl* radikal dan kemudian membentuk *crosslinking* dengan melakukan rekombinasi. Sedangkan *alkyl* radikal yang tersisa akan berikatan dengan oksigen di udara (Sulistioso, 2012).

Oksigen bereaksi dengan radikal bebas utama membentuk radikal bebas peroksi. Radikal bebas peroksi bereaksi dengan hidrogen sehingga terbentuk hidroperoksida yang tidak stabil dan menghasilkan produk oksidasi terutama keton, ester, dan asam karboksilat. Pada iradiasi UHMWPE yang mengandung vitamin E, radikal bebas peroksi memisahkan atom hidrogen dari vitamin E, membentuk hidrogen peroksida tanpa pembentukan radikal bebas baru sehingga rantai oksidasi terputus (Oral, Ebru dan Muratoglu, Orhun K., 2011). Aktivitas antioksidan ini berhubungan dengan kemampuan donasi hidrogen *phenolic* pada radikal bebas peroksid atau O_2 (Combs, Gerald F. Jr., 1992).

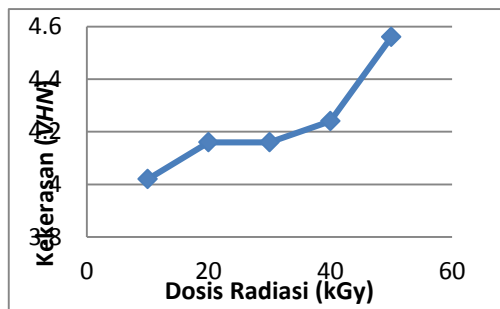
Sampel yang telah diradiasi dan dilakukan penambahan *tocopherol* akan mengandung gugus hidroksi *phenolic* (OH). Radikal bebas tokoferil dapat bereaksi dengan radikal bebas peroksi yang lain sehingga proses oksidasi dapat terputus. Berdasarkan hasil analisis FTIR *crosslinking* hanya terjadi pada UHMWPE dengan dosis 50 kGy. Identifikasi *crosslinking* diketahui dengan adanya kelompok trans vinil ikatan tak jenuh $=CH_2$ pada bilangan gelombang $555 - 545\text{ cm}^{-1}$.

Uji Kekerasan

UHMWPE yang diaplikasikan sebagai bantalan sendi (*tibial tray*) harus memiliki sifat kekerasan yang sesuai dengan parameter bantalan sendi sehingga memiliki ketahanan pakai yang lebih lama. Oleh karena itu, dilakukan radiasi gamma terhadap UHMWPE dengan variasi dosis 0 kGy, 10 kGy, 20 kGy, 30 kGy, 40 kGy, dan 50 kGy. Sifat kekerasan UHMWPE yang berbentuk film tipis dapat diikuti dengan melakukan uji kekerasan *Micro Vickers Hardness* sehingga diperoleh nilai kekerasan seperti pada Gambar 3. Pada UHMWPE yang telah ditambahkan *tocopherol* nilai kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2 Grafik Dosis Radiasi vs Kekerasan pada UHMWPE



Gambar 3 Grafik Dosis Radiasi vs Kekerasan Pada UHMWPE yang Ditambah *Tocopherol*

Nilai kekerasan pada sampel yang telah diradiasi dan direndam dalam *tocopherol* pada suhu tinggi mengalami peningkatan dibandingkan dengan nilai kekerasan pada bahan yang telah diradiasi saja. Hal ini disebabkan radikal bebas pada fase amorf akibat pemutusan ikatan C-H dan C-C ketika iradiasi gamma pada sampel dapat berekombinasi satu sama lain dan membentuk *crosslink*. Namun, radikal bebas yang terbentuk pada fase kristalin dapat terjebak dan mengakibatkan oksidasi pada material. Oksidasi menyebabkan pembentukan radikal bebas peroksi, hidroperoksi, dan kelompok karbonil (terutama keton, ester, dan asam karboksilat) yang disertai dengan pemotongan ikatan, rekristalisasi, dan menyebabkan polimer menjadi rapuh. Oksidasi pada UHMWPE dapat berkurang dengan penambahan *tocopherol* (Oral *et al*, 2006) karena adanya reaktivitas hidrogen *phenolic* sehingga dapat menstabilkan sisa radikal bebas (Combs, 1992). Hal ini berdampak pada peningkatan sifat mekanik UHMWPE.

Uji Tarik

UHMWPE yang dimanfaatkan sebagai bantalan sendi harus memenuhi spesifikasi kuat tarik, modulus elastisitas, dan perpanjangan putus yang sesuai dengan karakter bantalan sendi. Kuat tarik menandakan kegetasan suatu material yang berkaitan dengan aktivitas bantalan sendi saat bergesekan dengan tulang. Modulus elastisitas material yang diaplikasikan sebagai bantalan sendi berkaitan dengan tegangan yang diterima terlebih saat pergerakan sendi misalnya fleksi-ekstensi, translasi antero-posterior, dan rotasi dalam-luar. Selain parameter nilai kuat tarik dan modulus elastisitas, maka perlu diperhatikan pula besar perpanjangan putus. Nilai perpanjangan putus material mengindikasikan sifat ulet material dimana pada bantalan sendi berperan menahan beban tubuh manusia. Oleh karena itu, besar kuat tarik, modulus elastisitas, dan perpanjangan putus harus saling memperkuat (Sulistioso, 2012). Perpanjangan putus dan modulus elastisitas yang diperoleh dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 yang kemudian dibandingkan dengan karakteristik bahan untuk bantalan sendi (Tabel 1).

Berdasarkan Tabel 3 nilai modulus elastisitas dan kuat tarik UHMWPE yang diperoleh jauh berbeda dibandingkan dengan rentang nilai kualifikasi bahan sebagai *tibial tray* yaitu sebesar 800 – 1600 MPa dan 22 – 31 MPa. Material yang memiliki perpanjangan

putus yang memenuhi kualifikasi sebagai bantalan sendi yaitu pada pemberian dosis radiasi 50 kGy sebesar 366,8 % dimana rentang perpanjangan putus yang sesuai sebagai bantalan sendi yaitu 350 – 525 %. Namun, pada UHMWPE yang telah diradiasi dan ditambahkan *tocopherol* nilai perpanjangan putus yang dihasilkan tidak memenuhi kualifikasi nilai perpanjangan putus sebagai bantalan sendi.

KESIMPULAN

1. Pembentukan jalinan ikat silang (*crosslinking*) pada *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) menggunakan radiasi gamma terjadi dengan pemberian dosis 50 kGy.
2. Penambahan *tocopherol* pada UHMWPE yang telah diradiasi gamma berfungsi sebagai antioksidan dan menghasilkan gugus fungsi OH pada bilangan gelombang 3420 – 3250 cm^{-1} .
3. UHMWPE yang telah diradiasi gamma dan UHMWPE yang telah diradiasi gamma dan ditambahkan *tocopherol* belum memenuhi spesifikasi sebagai bantalan sendi berdasarkan sifat mekanik yang diperoleh yaitu modulus elastisitas, kuat tarik, dan perpanjangan putus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Bapak Rahmat Satoto dan Bapak Sudirman dari Laboratorium Uji Polimer LIPI Bandung atas bantuannya dalam preparasi sampel. Terima kasih disampaikan kepada Drs. Erizal, APU. dari BATAN Pasar Jumat Jakarta yang telah membantu melakukan iradiasi gamma.

DAFTAR PUSTAKA

- Christie, William W. *Tocopherols and Tocotrienols : Structure, Composition, Biology, and Analysis*. James Hutton Research Institute (and Mylnefield Lipid Analysis), Invergowrie, Dundee (DD 2 5 DA), Scotland. Lipidlibrary.aocs.org. Updated : 10 Agustus 2011.
- Combs, Gerald F. Jr. 1992. *The Vitamins Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. Academic Press Inc : United States of America.
- DeGroot J, Bank, R.A., Tchertverikov I et al. 2002. *Molecular Markers for Osteoarthritis : the Road Ahead*. Current Opinion in Rheumatology 14:585-589.
- Edidin A.A., Pruitt L., Jewett C.W., Crane D.J., Roberts D., and Kurtz S.M. *Plasticity-Induced Damage Layer is a Precursor to Wear in Radiation Cross Linked UHMWPE Acetabular Components for Total Hip Replacement*. *Ultra High Molecular Weight Polyethylene*. Journal of Arthroplasty 1999;14(5):616-27[PubMed : 10475563].
- Giat S., Sulistioso, Nurchamid, Joko, dkk. 2012. *Pembuatan Prototip Prostetik Sendi Lutut*. Prosiding InSINas 2012.
- Giat S., Sulistioso, Ramandhani K., Dewi, dkk. 2012. *Pengaruh Radiasi Gamma Terhadap Sifat HDPE untuk Tibial Tray*. ISSN 1907-0322.

- Haider, Hani, Weisenburger, Joel N., Kurtz, Steven M., et al. 2012. *Does Vitamin E-Stabilized Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene Address Concerns of Cross-Linked Polyethylene in Total Knee Arthroplasty?* Doi: 10.1016/j.arth.2011.03.024.
- Harris W.H. 2001. *Wear and Periprosthetic Osteolysis : the Problem*. Clin Orthop Relat Res, 393, 2001: 66-70.
- Jacobson, Karin. *Cross-Linked Ultra-High Molecular Weight Polyethylene*. Swedish Corrosion Institute.
- Jordan K., Arden N., Doherty M., et al. 2003. *EULAR Recommendations 2003 : An Evidence Based Approach to the Management of Knee Osteoarthritis : Report of a Task Force of the Standing Committee for International Clinical Studies Including Therapeutic Trials (ESCISIT)*. Annals of the Rheumatic Diseases 62(16):1145-1155.
- Lee, S.H., Nomura, N., and Chiba, A. 2007. *Microstructures and Mechanical Properties of Biomaterial Co-Cr-Mo alloys with Combination of N addition and Cr-enrichment 1st*; Asian Biomaterials Congress, December 6-8, 2007. Tsukuba : Japan.
- Lewis G. 2001. *Properties of Cross-Linked UHMWPE*. Biomaterials 22:371-401.
- Li, Hong, Chang, Ren Zhou, Min, Yin Zhu, Jin, Huan Tian, and Jian, Hua Rong. 2010. *Preparation and Characterization of Composite Scaffolds via In-Situ Hydration*. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology 42-49.
- McKellop H., Shen F.W., Lu B., Campbell P., and Salovey R. 1999. *Development of an Extremely Wear Resistant Ultra High Molecular Weight Polyethylene for Total Hip Replacements*. J Orthop Res 17(2) : 157-167.
- Oral, Ebru, Christensen, Steven D., Malhi, Arnaz S., et al. 2009. *Wear Resistance and Mechanical Properties of Highly Crosslinked UHMWPE Doped with Vitamin E*. J Arthroplasty. 2009 June; 21(4):580-591. Doi:10.1016/j.jrth.2005.07.009.
- Oral, Ebru, and Muratoglu, Orhun K. 2007. *Radiation Cross-Linking in Ultra-High Molecular Weight Polyethylene for Orthopaedic Applications*. Nucl Instrum Methods Phys Res B. 2007 December : 265(1): 18-22.
- Rosario, S.C. and Silva, LGA. 2006. *Characterization of the Virgin and Recycled Ultra High Molecular Weight Polyethylene Irradiated* [thesis]. Brazil : Cidade University.
- Sutula L.C., Collier J.P., Saum K.A., Currier B., Currier J., Sanford W., Mayor M., Wooding R., Sperling D., Williams I., et al. The Otto Aufranc Award. *Impact of Gamma Sterilization on Clinical Performance of Polyethylene in the Hip*. Clin Orthop 1995;(319):28-40. [PubMed : 7554641].
- World Health Organization. *World Health Report 2002. Reducing Risks, Promoting Healthy Life*. Geneva : WHO, 2002. (www.who.int/mwr)..

Tabel I
 Karakteristik Fisik Rata-rata *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE). (Sumber : Edidin A.A, dan Kurtz, S.M. 2000).

No.	Karakteristik	UHMWPE
1.	<i>Molecular weight</i> (10^6 g/ mol)	3.5 – 7.5
2.	<i>Melting temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	132 – 138
3.	<i>Poisson's ratio</i>	0.46
4.	<i>Specific gravity</i>	0.925 – 0.945
5.	<i>Tensile modulus of elasticity</i> * (Gpa)	0.5 – 0.8
6.	<i>Tensile yield strenght</i> * (MPa)	21 – 28
7.	<i>Tensile ultimate strenght</i> * (MPa)	39 – 48
8.	<i>Tensile ultimate elongation</i> * (%)	350 – 525
9.	<i>Impact strenght, Izod</i> * (J/ m of notch; 3.175 mm thick specimen)	>1070 (No Break)
10.	<i>Degree of crystallinity</i> (%)	39 – 75

Tabel II
Identifikasi Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi yang Terbentuk

Gugus Fungsi	Sampel										
	Pemaparan Radiasi Gamma						Pemaparan Radiasi Gamma dan Penambahan Tocopherol				
	0 (kGy)	10 (kGy)	20 (kGy)	30 (kGy)	40 (kGy)	50 (kGy)	10 (kGy)	20 (kGy)	30 (kGy)	40 (kGy)	50 (kGy)
<i>Bending</i> C-C=O	-	-	-	-	-	-	-	-	516,76	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	529,65	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	542,32	-	-
<i>Twisting</i> =CH ₂	-	-	-	-	-	551,98	-	-	-	-	-
Deformasi bidang CH	716,52	718,5	718,6	718,72	718,46	716,7	718,68	718,65	718,67	718,65	718,65
	-	730,05	730,00	729,91	730,04	729,96	730,16	729,96	729,92	729,87	729,88
<i>Stretching</i> C-O	-	-	-	-	-	-	-	1049,7	1086,2	1046,1	-
<i>Stretching</i> C-OH dan <i>stretching</i> C-O-C	1159,8	1163,6	1164,0	-	-	1165,2	-	-	1162,1	1164,0	1162,6
<i>Sretching</i> C-O	-	1233,8	-	1236,2	-	-	-	1233,1	-	-	-

Tabel III
 Identifikasi Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi yang Terbentuk

Gugus Fungsi	Sampel										
	Pemaparan Radiasi Gamma						Pemaparan Radiasi Gamma dan Penambahan Tocopherol				
	0 (kGy)	10 (kGy)	20 (kGy)	30 (kGy)	40 (kGy)	50 (kGy)	10 (kGy)	20 (kGy)	30 (kGy)	40 (kGy)	50 (kGy)
<i>Stretching</i> C-O dan <i>stretching</i> antisimetri C-O-C	1242,8	-	1241,3	-	-	1249,4	-	-	1242,9	1246,6	1242,1
Deformasi CH ₃	1365,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stretching</i> simetri COO ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	1375,7	-	-
Vibrasi <i>scissors</i> CH ₂	-	1461,9	1461,8	1461,8	1461,92	-	1461,6	1461,6	1461,5	1461,5	1461,6
Vibrasi <i>scissors</i> CH ₂	1471,0	1472,0	1472,1	1472,1	1471,9	1471,3	1472,0	1472,1	1472,0	1472,0	1472,0
<i>Stretching</i> C=O	-	-	-	-	-	-	-	-	1718,3	-	1718,3
<i>Stretching</i> CH	2847,3	2846,8	2846,7	2846,6	2846,8	2847,1	2846,6	2846,5	2846,3	2846,3	2846,3
<i>Stretching</i> CH	2913,1	2913,9	2914,3	2914,4	2913,9	2912,7	2914,1	2914,0	2914,0	2914,1	2914,0
<i>Stretching</i> OH	-	-	-	-	-	-	-	3392,2	-	3356,8	-

Tabel IV
 Nilai Perpanjangan Putus dan Modulus Elastisitas

Dosis (kGy)	UHMWPE yang Telah Diradiasi Gamma			UHMWPE yang Telah Diradiasi Gamma dan Ditambahkan Tocopherol		
	Modulus Elastisitas (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)	Modulus Elastisitas (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Putus (%)
0	176,81	44,25	344,20	-	-	-
10	183,11	36,00	251,50	165,03	34,25	350,40
20	194,82	43,00	379,50	175,34	35,25	293,40
30	205,62	42,25	289,70	189,69	41,50	335,50
40	209,88	52,75	311,97	199,22	40,00	267,00
50	213,88	60,00	366,80	205,48	49,50	300,40

PROFIL BAHAN CETAK GIGI ALGINAT BERBASIS NATRIUM ALGINAT DARI SARGASUM SP SELAT MADURA

Prihartini Widiyanti^{1,2}, Siswanto³

¹Prodi S1 Teknobiomedik, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya

²Institute of Tropical Disease Universitas Airlangga, Surabaya

³Prodi S1 Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga, Surabaya

Email: drwidiyanti@yahoo.com

Abstract

Sargassum sp has been abundantly available in the Indonesia territorial. As brown algae, Sargassum has been used for many medical usage. One of important material in dentistry is impression material. All this time the availability of impression material in dentistry is from imported material. The research of impression material based on natrium alginate from Sargassum sp. has been done before but some of physical and mechanical characteristics are still not optimum. The impression material is still brittle although it has been successfully in accuration of detail and setting time. This aim of this research is to increase the mechanical and physical characteristics by adding Magnesium Oxide to gain the best characteristics of impression material for dentistry application. We use variation composition of magnesium oxide weight which are 6%, 7%, 8%, 9%, and 10%. Sample preparation is done by mixing natrium alginate powder from Sargassum sp extraction with otherr constituent materials and addition of magnesium oxide. The setting time test was performed by mixing the powder of impression material with 250 μ L of distilled water and then counted setting time. The best result of setting time was 4 minutes 17seconds with the addition of magnesium oxide percent age by 7%. We did also the tear strength, Scanning Electron Microscope (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) and MTT Assay. All of tear strength values are in the range of standardized value corresponding to American National Standard Institute/American Dental Association (ANSI /ADA) between 400 J/m² – 500 J/m². SEM profile has been showed non uniform particle size distribution and the existence of porous. XRD result has been showed the presence of lower interlayer distance of main diffraction peak which associated to the well distributed of non uniform powder size. The dental impression material is not toxic related to the cell viability values greater than 60%.

Keywords : natrium alginate, magnesium oxide, setting time, tear strength, physical characteristic

Abstrak

Sargassum sp tersedia melimpah di perairan Indonesia. Sebagai alga coklat, Sargassum telah digunakan untuk berbagai keperluan medis. Salah satu material yang penting di bidang Kedokteran Gigi adalah bahan cetak gigi. Selama ini ketersediaan bahan cetak gigi masih tergantung pada suplai dari luar negeri. Penelitian tentang bahan cetak gigi berbasis natrium alginat dari Sargassum telah dilakukan sebelumnya namun sifat fisik dan mekaniknya belum optimal. Bahan cetak masih rapuh meski sudah memenuhi persyaratan dalam akurasi detail dan waktu pengerasan. Tujuan riset ini adalah meningkatkan karakter fisik dan mekaniknya dengan penambahan Magnesium Oksida untuk mendapatkan karakteristik terbaik bahan cetak gigi. Digunakan komposisi variasi berat Magnesium Oksida sebesar 6%, 7%, 8%, 9%, dan 10%. Persiapan sampel dilakukan dengan mencampur bubuk natrium alginat dari ekstraksi Sargassum sp dengan bahan lain dan MgO. Uji waktu pengerasan dilakukan dengan mencampur bubuk bahan cetak dengan 250 μ L of distilled water dan dihitung waktu pengerasannya. Hasil terbaik adalah 4 menit 17 detik pada penambahan MgO 7%. Dilakukan uji kuat robek, Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD) dan MTT Assay. Semua nilai kuat robek berada pada rentang standard kuat robek sesuai American National Standard Institute/American Dental Association (ANSI /ADA) untuk aplikasi klinis yaitu 400 J/m² – 500 J/m². Profil SEM menunjukkan distribusi ukuran partikel yang tidak seragam dan adanya pori. Hasil XRD menunjukkan adanya jarak interlayer yang lebih rendah dari puncak difraksi utama yang berkaitan dengan pendistribusian ukuran pori yang tidak seragam secara merata. Bahan cetak gigi ini tidak toksis menurut nilai viabilitas sel hidupnya yang di atas 60%.

Kata kunci : natrium alginat, magnesium oksida, waktu pengerasan, kuat robek, karakteristik fisik

PENDAHULUAN

Bahan cetak merupakan bahan yang digunakan untuk membuat tiruan negatif dari rongga mulut, sehingga selanjutnya dapat dibuat model gigi darinya. Model gigi tersebut digunakan oleh dokter gigi sebagai model studi maupun sebagai model kerja (Anusavice, 2003). Bahan cetak alginat adalah suatu bahan cetak golongan hidrokoloid bersifat elastis yang

irreversible. Hidrokoloid *irreversible* berarti bahwa setelah alginat dicampur dengan suatu zat dan terjadi reaksi kimia, maka alginat tidak dapat kembali ke bentuk semula. Komponen utama bahan cetak hidrokoloid *irreversible* adalah natrium alginat. Dalam keadaan klinis, waktu pengerasan bahan cetak alginat cenderung terlalu cepat (3-4 menit) sehingga para dokter gigi melakukan modifikasi rasio air terhadap

bubuk bahan cetak, tetapi modifikasi tersebut mempengaruhi sifat gel dan kekuatan cetakan terhadap robekan (Anusavice, 2003).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis bahan cetak gigi natrium alginat dari alga coklat *Sargassum sp.* Sintesis dilakukan dengan menggunakan natrium alginat yang diekstrak dari alga coklat *Sargassum sp.* yang diperoleh dari Selat Madura. Hasil proses sintesis dan perlakuan uji yang telah dilakukan sebelumnya tersebut uji *setting time* bahan cetak gigi natrium alginat dengan variasi pemerlambat trinitratium fosfat menghasilkan lama waktu pengerasan antara 389 – 643 detik (6 – 10 menit). Hasil tersebut jauh dari dari ketentuan ADA No.18 tahun 1969 yaitu tidak lebih dari 270 detik (4 menit 30 detik), jadi belum menunjukkan bahwa bahan cetak gigi natrium alginat layak digunakan untuk aplikasi klinis dan bahan cetak gigi yang dihasilkan juga masih terlalu rapuh (Aprilyanti W, 2012). Dalam penelitian tersebut juga masih terdapat kekurangan, yakni belum dilakukannya pengujian mekanik *tear strength* (uji ketahanan robek) untuk mengetahui besar nilai ketahanan robek bahan cetak gigi yang dihasilkan.

Penelitian yang dilakukan Nalamuthu, *et al* (2012) yaitu dengan menambahkan MgO dapat menghasilkan material dengan kekuatan robek lebih tinggi, kekerasan lebih tinggi, dan waktu pengaturan lebih lama bila dibandingkan dengan lama waktu pengerasan bahan cetak gigi komersil yang sudah ada, sehingga menunjukkan perannya sangat penting. Penambahan MgO sebanyak 10 % pada bahan cetak gigi berbasis natrium alginat dengan prosentase tanah diatom 63 % dan 73 % menghasilkan *setting time* 3 menit dan 4 menit. Sedangkan hasil uji ketahanan robek (*tear strength*) sebesar 403 J/m², dimana hasil tersebut masih tergolong range bawah dari standart yang ada yakni 400 – 500 J/m² (Nallamuthu et al, 2012).

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, maka pada penelitian ini dilakukan penambahan bahan pemerkuat magnesium oksida pada bahan cetak gigi yang diharapkan memiliki karakteristik yang baik dengan menggunakan uji *setting time*, uji ketahanan robek (*tear strength*), dan uji sitotoksitas, sehingga nantinya akan dihasilkan bahan cetak gigi terbaik.

BAHAN DAN ALAT

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga macam. Bahan untuk ekstraksi natrium alginat meliputi alga coklat *Sargassum sp.*, aquades, air, HCl 5%, Na₂CO₃ 4%, NaOCl 12%, NaOH 10%, dan Isopropanol alkohol (IPA). Bahan untuk sintesis bahan cetak gigi natrium alginat meliputi natrium alginat, kalsium sulfat, kalium sulfat, silika gel, PEG, tanah diatoma, dan magnesium oksida. Bahan untuk pengujian meliputi bahan cetak komersil (bahan cetak kontrol) dan sel fibroblast.

Alat yang digunakan dalam penelitian dikelompokkan menjadi tiga. Peralatan ekstraksi natrium alginat meliputi *blender*, pemanas, spatula, peralatan gelas, timbangan digital, *aluminium foil*, kertas saring, dan *freeze dryer* (pengeringan sampel).

Mortar digunakan pada proses sintesis bahan cetak gigi natrium alginat. Peralatan pengujian meliputi model berupa balok karet berukuran panjang 0, 98 cm dan lebar 0,75 cm, *bowl* dan spatula karet, jarum pentul, mikropipet *Eppendorf Reference* ukuran 100µl dan 1000µl, Nicolet iS10 *Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Universal Testing Machine* (UTM), dan Spektrofotometer *Ellisa Reader*.

Metode penelitian ini terdiri dari 3 bagian yaitu ekstraksi natrium alginat, sintesis bahan cetak dan pengujian. Uji yang dilakukan adalah uji FTIR, *setting time*, *Tear strength*, SEM, XRD dan toksisitas (MTT Assay). Ekstraksi natrium alginat dari *Sargassum sp.* merujuk pada metode ekstraksi penelitian yang dilakukan oleh Juniarto (2006) dan Rasyid (2010) yang dimodifikasi. Alga coklat *Sargassum sp.* diperoleh dari Selat Madura kemudian diekstraksi menjadi natrium alginat. Tahap pengeringan menggunakan metode *freeze drying* selama ± 3 hari (62 jam). Serat natrium alginat dibekukan dalam freezer bersuhu -30°C selama ± 24 jam hingga beku. Material yang disimpan dalam suhu rendah mencegah adanya metabolisme dari mikroba. Setelah beku, material diuapkan dengan lyophilizer. Hasil ekstraksi tersebut berupa bubuk natrium alginat dan diolah menjadi bahan cetak natrium alginat. Karakterisasi natrium alginat dilakukan dengan menggunakan FTIR. Pembuatan bahan cetak gigi natrium alginat yang dilakukan pertama adalah mengekstraksi natrium alginat dari *Sargassum sp.* kemudian mencampurkan semua bahan secara manual dengan menggunakan mortar. Sampel bahan cetak dibuat dengan menggunakan lima variasi prosentase magnesium oksida yang juga berfungsi sebagai bahan pengisi yang mempunyai sifat lebih yang dapat berpengaruh pada lama waktu penerasan dan hasil cetakan. Prosentasenya yaitu 6% pada sampel A, 7% pada sampel B, 8% pada sampel C, 9% pada sampel D, dan 10% pada sampel E.

Tabel 3.1 Formula Bahan Cetak Gigi Natrium Alginat

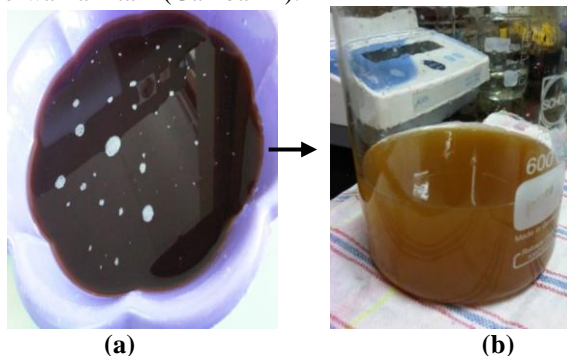
Bahan	Prosentase
Natrium Alginat	19
Kalsium Sulfat	40
Kalium Sulfat	15
Tanah Diatom	4
Silika Gel	15
PEG	7

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemurnian sampel natrium alginat yang telah disintesis dari alga coklat. Metode spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) ataupun IR (*Infra Red*) digunakan untuk mengkonfirmasi dan menentukan struktur molekul, memantau reaksi dan mengetahui kemurnian suatu senyawa. *Setting time* atau waktu pengerasan diuji dengan cara memasukkan jarum pentul pada bahan cetak gigi natrium alginat-magnesium oksida yang telah dicampur dengan air. waktu pengerasan ditandai dengan jarum pentul yang sudah dapat diangkat tanpa ada bahan cetak yang

menempel. Uji kuat robek dilakukan untuk mengetahui ketahanan sobek bahan cetak gigi natrium alginat. Data yang langsung diperoleh dari *Universal Testing Machine* ini adalah besar nilai ketahanan robek terhadap setiap besar gaya yang diberikan. Uji Sitotoksisitas MTT *Assay* dilakukan untuk mengetahui sitotoksisitas sampel. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kultur sel fibroblas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses ekstraksi berupa cairan berwarna coklat muda setelah dilakukan pemucatan dengan NaOCl. Pemucatan (*bleaching*) dimaksudkan agar bubuk natrium alginat yang dihasilkan tidak berwarna hitam (Gambar 1).



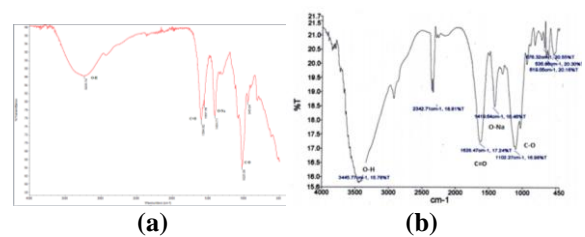
Gambar 1. (a) sebelum penambahan NaOCL ; (b) setelah dipucatkan dengan NaOCL

Hasil yang diperoleh setelah proses pembekuan dan dikeringkan dengan menggunakan *lyophilizer* tetap berupa serat namun sudah kering. Hasil pengeringan kemudian dihaluskan dengan menggunakan *blender* hingga diperoleh bubuk natrium alginat (Gambar 4.2). Bubuk natrium alginat berwarna krem, tidak bau, dan jika dilarutkan dengan air membentuk larutan yang kental, butirannya lembut dan permukaannya halus.



Gambar 2. Bubuk Natrium Alginat dari Alga Coklat *Sargassum sp.*

Hasil uji FTIR membuktikan bahwa telah terbentuk natrium alginat dari hasil ekstraksi *Sargassum sp* seperti tampak pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil FTIR natrium alginat *Sargassum sp* (a) dan produk komersial Sigma Aldrich (b)

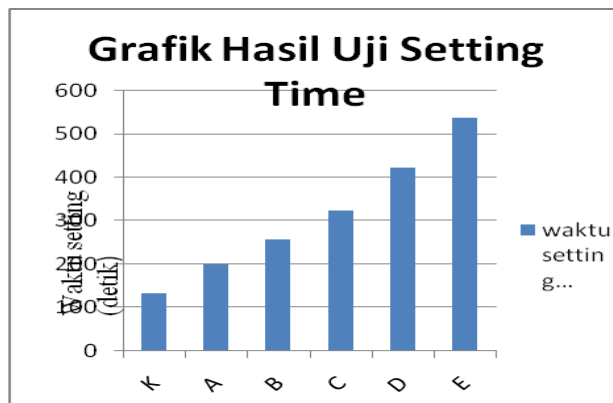
Grafik serapan natrium alginat dari *Sargassum sp.* (Gambar a) identik dengan grafik serapan Natrium alginat control (Gambar b). Hal ini dapat diketahui dari munculnya puncak serapan natrium alginat ($C_6H_7O_6Na$)_n pada bilangan gelombang seperti tersaji dalam Tabel berikut :

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	
	Kontrol	Sampel
O-H	3443,88	3233,74
C-O	1630,40	1594,82
O-Na	1418,59	1404,71
C-O	1103,76	945,64

Metode yang digunakan saat proses pembuatan sampel mengikuti tahapan dilakukan Apriliyanti W (2012), yaitu mencampur semua komposisi yang digunakan untuk membuat bubuk bahan cetak menggunakan mortar. Kemudian ditambahkan magnesium oksida (MgO) dengan variasi 6%, 7%, 8%, 9%, dan 10%. Bubuk bahan cetak yang dihasilkan berwarna putih gading, butirannya halus, dan tidak berbau.

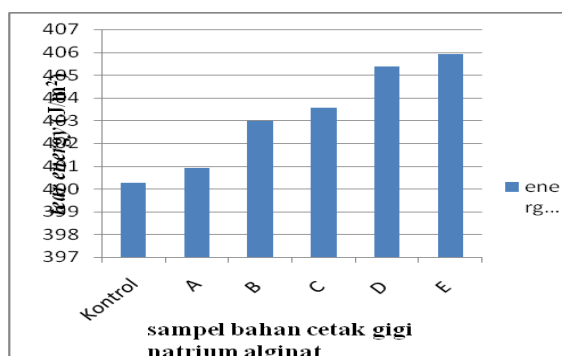


Gambar 4. Bubuk bahan cetak gigi Natrium Alginat dari Alga Coklat *Sargassum sp.*



Gambar 5. Hasil Uji Setting Time Natrium alginat dari *Sargassum sp*

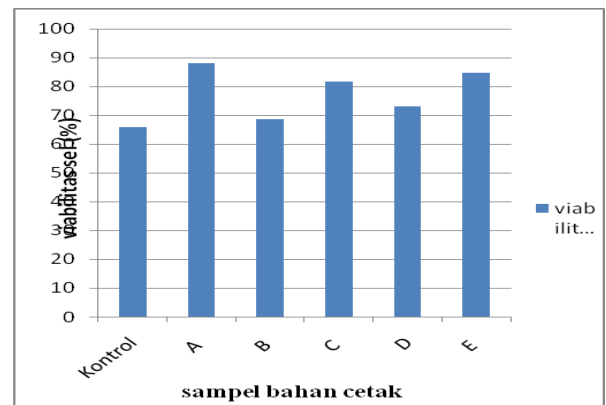
Hasil uji *setting time* membuktikan bahwa penambahan magnesium oksida berpengaruh pada lama waktu pengerasan karena magnesium oksida itu sendiri apabila direaksikan dengan suatu bahan seperti alginat, akan cepat terbentuk ikatan. Semakin cepat terbentuknya ikatan, akan mempercepat pula proses pengerasan suatu bahan cetak. Lama waktu pengerasan sangat berperan dalam kinerja dokter gigi karena berpengaruh pada faktor kenyamanan pasien, agar pasien tidak terlalu lama membuka mulut. Lama waktu pengerasan tersebut sesuai dengan peraturan ADA No.18 tahun 1969 yaitu tidak lebih 270 detik (4 menit 30 detik) untuk waktu normal. Karena faktor kenyamanan pasien menjadi pertimbangan yang penting, maka dari pengujian kali ini sampel terbaik adalah sampel B dengan prosentase penambahan magnesium oksida sebanyak 7%. Hasil tersebut sudah sesuai dengan peraturan ADA No.18 tahun 1969 yaitu tidak lebih 270 detik (4 menit 30 detik) untuk waktu normal.



Gambar 6. Hasil kuat robek Natrium alginat dari *Sargassum sp*

Nilai energi robek bahan cetak kontrol tidak dapat dibandingkan dengan nilai hasil uji robek sampel A – E, karena pada sampel kontrol belum dilakukan penambahan magnesium oksida. Bahan cetak kontrol mempunyai nilai energi sobek sebesar 400,27 J/m². Hasil uji robek (*tear strength*) menunjukkan bahwa prosentase penambahan magnesium oksida berpengaruh terhadap ketahanan robek bahan cetak karena magnesium oksida disini berperan sebagai partikel pengisi dengan sifatnya yang berfungsi untuk

menambah kekuatan bahan cetak karena merupakan logam paling ringan yang tahan terhadap abrasi dan mempunyai kestabilan kimia yang cukup bagus sehingga aman bagi tubuh (Af'idah, 2007). Hal tersebut dapat dilihat dengan membandingkan hasil ketahanan robek bahan cetak sebelum dan setelah ditambahkan magnesium oksida. Pada sampel dengan penambahan komposisi magnesium oksida, terlihat nilai besar ketahanan robek bahan cetak semakin tinggi seiring bertambahnya prosentase magnesium oksida. American National Standards Institute/American Dental Association (ANSI/ADA) No. 19 ISO 4823 yang mempunyai standarisasi untuk nilai ketahanan sobek bahan cetak sebesar 400 – 500 J/m². Hasil dari pengujian yang telah dilakukan sudah sesuai dengan ANSI/ADA.



Gambar 7. Nilai prosentase sel hidup Natrium alginat dari *Sargassum sp*

Hasil prosentase sel hidup yang fluktuatif terjadi karena sifat bahan cetak yang mampu menyerap air (Sitinjak, 2001). Adanya sel yang ikut terserap atau menempel pada sampel menyebabkan jumlah sampel berkurang meskipun dalam jumlah yang sedikit. Sel berkurang karena setelah diinkubasi selama 24 jam, sampel dibersihkan dari *mikroplate* dan sel yang menempel bisa ikut terbuang. Hal tersebut dapat mempengaruhi proses identifikasi persentase sel hidup didalam *Elisa Reader*. Hasil perhitungan jumlah sel hidup dapat diketahui bahwa sampel bahan cetak tergolong bahan yang tidak toksik karena menunjukkan persen sel hidup lebih dari 60% (Spielmann, 2000).

KESIMPULAN

1. Bahan cetak natrium alginat yang dihasilkan memiliki karakteristik *setting time* terbaik adalah pada sampel B dengan penambahan magnesium oksida sebesar 7% dengan lama waktu pengerasan 4 menit 17 detik. Hasil tersebut berada pada rentang waktu untuk aplikasi klinis karena sudah sesuai dengan ketentuan *American Dental Association* (ADA) No. 18 tahun 1969 yaitu tidak lebih dari 4 menit 30 detik .
2. Prosentase penambahan magnesium oksida berpengaruh terhadap ketahanan robek bahan cetak. Semakin besar prosentase penambahan

- magnesium oksida, maka semakin besar nilai ketahanan robek bahan cetak.
3. Profil struktur mikroskopik bahan cetak melalui SEM menunjukkan distribusi ukuran partikel merata dan keberadaan pori yang berkaitan dengan mudahnya interaksi dengan air.
 4. Gambaran XRD bahan cetak menunjukkan adanya jarak interlayer yang lebih rendah pada puncak difraksi utama berkaitan dengan meratanya ukuran bubuk yang tidak seragam.
 5. Bahan cetak gigi natrium alginat dari alga coklat *Sargassum sp.* dengan variasi magnesium oksida tidak tergolong toksik dengan persen sel hidup antara 65% - 85%.
- REFERENSI**
- Ap'idah, N. 2007, "Penggunaan Al₂O₃, MgO dan MgAl₂O₄ Nanokristalin dalam Meningkatkan Kinerja Material Komposit Bermatrik aluminium", Tugas Akhir, Jurusan Fisika FMIPA ITS, Surabaya.
- Anggadiredja, Jana T, dkk, 2010. Rumput Laut. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Anusavice, J.K., 2003. Philipps : Buku Ajar Ilmu Bahan Kedokteran Gigi, alih bahasa : Johan Arif Budiman dan Susi Purwoko. Penerbit Buku Kedokteran (EGC), Jakarta.
- Aprilyanti W, 2012. Sintesis Bahan Cetak Gigi Natrium Alginat Dari Alga Coklat *Sargassum Sp.* Yang Berpotensi Untuk Aplikasi Klinis. Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
- Bangun H, Kaban J, Dawolo AK, Daniel. 2006. Pembuatan membran kompleks polielektrolit alginat kitosan. Jurnal Sains Kimia. [serial online].
<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/15776/1/skm-jan2006-%20%283%29.pdf>
- Graham, L. E., Wilcox, L. W. 2000. Algae, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ. pp 640
- Jeddy G. 2001. Pengaruh empat macam perlakuan pada bahan cetak alginat terhadap perubahan dimensi, dentika Dental Journal; 6(1): 1-5.
- Metal bulletin Monthly, 2006. *Magnesium Oxide*.
- Navina A. Nallamuthu, Michael Braden, Manggala P.Patel. 2012. Some Aspects Of The Formulation Of Alginate Dental Impression Material-Setting Characteristic And Mechanical Properties.
- Noerdin, Ali, Bambang Irawan, Mirna Febriani, 2003. Pemanfaatan Pati Ubi Kayu (Manihot Utilisma) Sebagai Campuran Bahan Cetak Gigi Alginat. Makara, Kesehatan, Vol. 7, No. 2.
- Rasyid, A., 2003. Algae Coklat (Phaeophyta) Sebagai Sumber Alginat, Oseana Volume XXVIII No. 1: 33-38.
- Situngkir, Janner. 2008. Pembuatan dan Karakterisasi Fisikokimia Bahan Cetak Gigi Palsu Kalsium Alginat. Tesis Universitas Sumatera Utara. Spielmann, H., Muller, L., Averbek, D., Balls, M., Brendler-Schwaab, S., Castel, J.V., Curren, R., de Silva, O., Gibbs, N.K., Liebsch, M., Lovell, W.W., Merk, H.F., Nash, J.F., Neumann, N.J., Pape, W.J.W., Ulrich, P., dan Vohr, H.W., 2000, *The Second ECVAM Workshop on Phototoxicity Testing*, ATLA 28, 777-814.
- Sumawinata N. 1993. Kamus kedokteran gigi. Alih bahasa ; hidrocoloid irreversible. Jakarta: EGC.
- Wandrey C, Bartkowlak A, Harding S., 2005. Material for Encapsulation.
- Winarno, F., G., 1996, Teknologi Pengolahan Rumput Laut, Pustaka Sinar Harapan, Jakarta.
- Yunizal. 2004. Teknik Pengolahan Alginat. Pusat Riset Pengolahan Produk dan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan. Jakarta.

FREEZE DRIED – AMNIOTIC MEMBRANE GLUTARALDEHID DENGAN COATING DOPAMIN-KITOSAN SEBAGAI LAPISAN OTAK (DURAMATER) ARTIFISIAL

¹Prihartini Widiyanti, ^{2*}Agresta Afianti Ifada, ³Alfian Pramudita Putra, ⁴Annisa Aulia Rahma, ⁵Muhammad Husni Ibrahim, ⁶Ludita Woro Indrio

^{1,2,3,4,5,6}Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga

^{*}fifinifada@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi lapisan otak (duramater) artifisial menggunakan membran amnion manusia yang telah melalui proses freeze-dried. Penambahan glutaraldehid yang dilakukan bertujuan untuk membentuk crosslink dengan membran amnion agar meningkatkan kekuatan mekanik. Duramater berperan membantu kinerja otak sehingga dibutuhkan cairan neurotransmitter yaitu dopamine yang dapat menghantarkan sinyal – sinyal ke otak. Penambahan kitosan diperlukan untuk meningkatkan sifat biokompatibilitasnya. Setelah itu, dilakukan karakterisasi agar kandidat duramater ini ideal sebagai material implant meliputi uji Fourier Transform Infrared (FTIR), uji tarik, uji Scanning Electron Microscope (SEM), dan uji sitotoksitas (MTT assay). Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa terbentuk ikat silang di membran amnion pada daerah serapan $1235,91\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus C-N dan $1633,94\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus N-H. Hasil uji tarik menunjukkan nilai Ultimate Tensile Strength (UTS) dengan rentang 17,49 MPa. Hasil uji SEM menunjukkan ukuran pori pada rentang $8,393\text{ }\mu\text{m}$ – $12,01\text{ }\mu\text{m}$ dan ketebalan sebesar $9,96\text{ }\mu\text{m}$. Hasil uji sitotoksitas menunjukkan bahwa semua sampel tidak toksik dengan nilai viabilitas sel lebih dari 90%.

Kata kunci: freeze-dried amniotic membrane (FDAM), lapisan otak (duramater) artifisial, glutaraldehid, dopamin, kitosan

PENDAHULUAN

Bidang neurosurgery telah menghadapi masalah dengan cacat dural yang terjadi di operasi kepala dan leher, trauma kepala dan sinus dan penyakit langka, seperti Marfan Syndrom dan Ehlers-Danlos Syndrom. Prevalensi penyakit Marfan Syndrom dan Ehlers-Danlos Syndrome ini kira-kira 1 dari 5000 tiap kelahiran (Karita Utami, 2010). Duramater buatan dari silikon telah dikembangkan. Namun, duramater silikon ini telah tidak digunakan lagi karena cenderung menyebabkan meningorrhagia (pendarahan) karena non-biodegradable. Sebaliknya, duramater buatan dari material yang dapat mengalami biodegradasi, seperti kolagen dan gelatin tidak dapat digunakan begitu saja dikarenakan kekuatan mekanik yang kurang baik. Meskipun cukup jarang, hal ini tetap menjadi masalah di dunia medis terutama pada negara berkembang (Harsono, 2005). Sayatan kecil atau pemotongan dalam duramater dapat menyebabkan kebocoran serebrospinal, yang pada tingkat kecil dapat menyebabkan sakit kepala menerus, dalam kasus kebocoran yang lebih besar dapat menyebabkan reaksi lebih parah dan berakibat kematian. Data yang telah didapatkan pada tingkat kematian di negara berkembang lebih tinggi yaitu sekitar 15-30% (Piolk, 2007).

Atas latar belakang inilah, maka diusulkan pembuatan duramater artifisial dari bahan dasar membran amnion glutaraldehid yang dilapisi dengan kitosan - dopamin. Membran duramater artifisial harus memenuhi standart material implan yaitu dari segi sifat fisis ataupun biologisnya. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan karakterisasi uji tarik, uji morfologi, uji sitotoksitas dan uji FTIR. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk referensi dalam pembuatan duramater artifisial glutaraldehid dengan coating dopamin - kitosan sehingga

dapat menjadi dasar pembuatan duramater artifisial yang lebih ekonomis dan mudah dalam pembuatannya sehingga dapat diproduksi secara lebih luas di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

BAHAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah membran amnion manusia, dopamine, glutaraldehid dan kitosan.

METODE

Pertama membran amnion dicuci hingga bersih dari darah dan berwarna putih. Kemudian dilapisi dengan glutaraldehid dengan konsentrasi 0,5%. Kemudian mencampurkan larutan kitosan dan dopamin. Membran amnion dilapisi kembali dengan larutan kitosan-dopamin. Lalu di freeze pada suhu -80°C dan dikeringkan menggunakan lyophilizer. Setelah kering membran dipotong dengan ukuran 3 cm X 5 cm. Kemudian dimasukkan ke dalam plastik hingga 3 lapis dan di vacuum agar kedap udara.

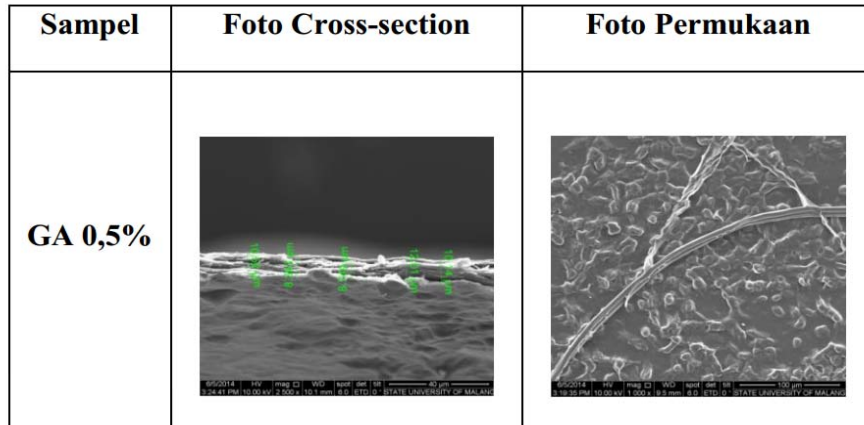
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi yang pertama dilakukan uji tarik menggunakan autograf. Uji ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar beban yang mampu diterima oleh membran tersebut, mengingat fungsi dari lapisan duramater ini ialah untuk menahan Cerebro Spinal Fluid (CSF). Dari hasil yang telah didapatkan, besar gaya yang diberikan 1,56 N, dengan lebar x tinggi membran 0,5 mm x 17,53 mm sehingga didapatkan nilai kuat tarik membran ini ialah 17,49 MPa. Nilai tersebut mendekati dengan nilai kuat tarik pada lapisan duramater manusia.

Sehingga membran duramater ini dapat menompang CSF sebagaimana mestinya.

Karakterisasi berikutnya ialah uji morfologi menggunakan *Scanning Electrone Microscopy* (SEM). Uji ini bertujuan untuk mengetahui struktur permukaan dari membrane sehingga dapat diketahui ketebalan dan ukuran porinya. Ukuran pori harus lebih kecil dari ukuran

molekul CSF. Data yang telah didapatkan bahwa besar ukuran pori pada kisaran $8,393 \mu\text{m}$ – $12,01 \mu\text{m}$ dan ketebalan $9,96 \mu\text{m}$. Ketebalan ini masih belum memenuhi standart tebal membran duramater manusia yaitu $0,1 \text{ mm}$. Walaupun ketebalannya masih belum sesuai, nilai kuat tarik sudah bisa memenuhi standart sehingga tidak dikhawatirkan terjadinya kebocoran.

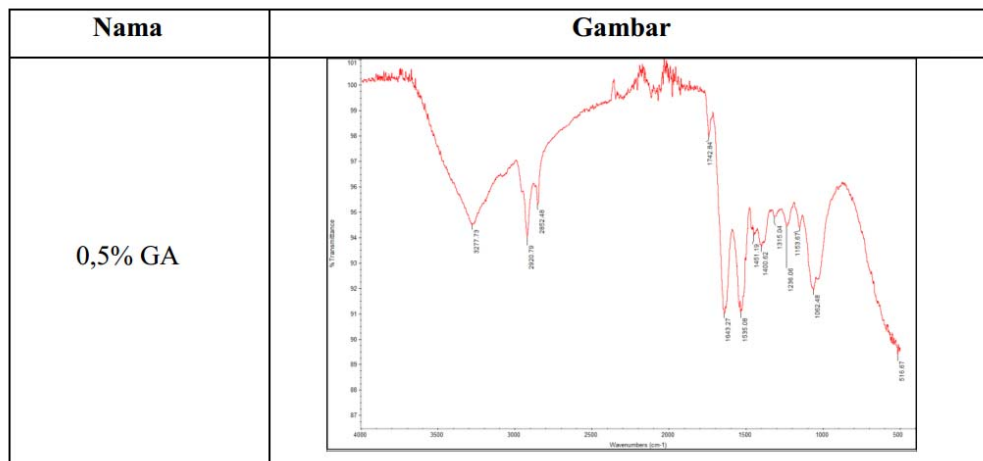


Gambar 1. Struktur permukaan membran duramater artifisial

Karakterisasi sitotoksitas menggunakan metode MTT Assay. Tujuan dari uji ini ialah untuk mengetahui apakah material bersifat toksik atau tidak. Pada uji ini akan didapatkan nilai persentase sel hidup (sel BHK 21). Nilai persentase sel hidup membran tersebut sebesar 91,79%. Menurut Merziani, 2005, suatu

material dikatakan tidak toksik jika prosentase sel hidupnya pada kisaran 92,3 % - 100%.

Karakterisasi yang terakhir ialah Fourier Transport Infra Red (FTIR) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada material ini.



Gambar 2. Hasil FTIR membran duramater artifisial

Tabel 1. Tabel bilangan gelombang gugus fungsi membran duramater artifisial

Jenis Bahan	Bilangan Gelombang Gugus Fungsi (cm ⁻¹)				
	O-H	N-H	C-N	-NH ₂	C=O
Membran amnion	-	3309,85	1242,16	-	-
Kitosan	3434,55	-	1153,96	1640,93	-
Glutaraldehid	-	-	-	-	1638,10
Dopamine	3323,93	-	-	1636,44	-
0% GA	-	3280,86	1235,91	1633,94	-
0,5% GA	-	3277,73	1236,06	1643,27	-

Tabel di atas merupakan ringkasan dari uji FTIR bahan awal dan sampel. Pada sampel FDAM, terlihat bahwa tidak muncul perbedaan antara 0% GA sebagai kontrol positif dengan variasi GA yang lain. Hal ini dikarenakan ikatan silang yang terjadi akibat adanya GA yaitu gugus fungsi amina tersier, juga terdapat dalam kolagen pada membran amnion, sehingga yang terbaca adalah gugus amina tersier dari kolagen tersebut. Untuk mengetahui ikatan silang tersebut, harus dilakukan uji NMR (Nuclear Magnetic Resonance) (Pavia et al., 2009).

KESIMPULAN

Freeze dried amnion membrane glutaraldehid 0,5% coating kitosan – dopamin berpotensi sebagai lapisan otak (duramater) artifisial berdasarkan hasil karakterisasi fisis maupun biologisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott WM, Dupree EL Jr: Clinical results of lyophilized human cadaver dura transplantation. J Neurosurg 34:770–773, 1971
- Albin MS, D'Agostino AN, White RJ, et al: Nonsuture sealing of a dural substitute utilizing a plastic adhesive, methyl 2-cyanoacrylate. J Neurosurg 19:545–550, 1962. Bailey OT, Ingraham FD: Chemical, clinical.
- European White Book on Fundamental Research in Materials Science; Ruhle, M., Dosch, H., Mittenmeijer, E., van der Vorde, M., Eds.; Max-Planck-Institut für Metallforschung: Stuttgart, Germany, 2001.
- Fung YC. Biomechanics: mechanical properties of living tissues. New York: Springer-Verlag, 1981:19&260.
- Ratner, B.D. Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine, 2nd ed.; Elsevier Academic Press: Amsterdam, The Netherlands, 2004; pp. xii, 851.

KARAKTERISASI MORFOLOGI TERHADAP PADUAN *HOLLOW FIBER POLY L-LACTIC ACID* (PLLA) – KOLAGEN COATING KITOSAN SEBAGAI KANDIDAT PEMBULUH DARAH

Agresta Afianti Ifada^{1*}, Prihartini Widiyanti², Djoni Izak R.³

^{1,2,3}Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya

*fifinifada@gmail.com

ABSTRAK

World Health Organization (WHO) tahun 2005 memperkirakan 17,5 juta populasi meninggal akibat penyakit jantung dan pembuluh darah. Salah satu solusi yang ditawarkan bagi pasien dengan skala berat ialah bypass (penggantian pembuluh darah dengan pembuluh darah artifisial). Tujuan penelitian ini ialah memahami proses pembuatan paduan hollow fiber Poly L-Lactic Acid (PLLA) – kolagen coating kitosan sebagai kandidat pembuluh darah, mengetahui konsentrasi kolagen terbaik dan hasil karakterisasi (uji tarik, uji morfologi, uji sitotoksitas, dan uji hemolisis) agar didapatkan kandidat pembuluh darah yang ideal. PLLA dilarutkan dengan kloroform – toluena dan ditambahkan kolagen. Setelah tercampur homogen larutan dicetak menggunakan spinneret membentuk hollow fiber dan dilapisi oleh kitosan. Hasil uji morfologi didapatkan ukuran diameter pada kisaran 3 mm dan besar pori yang terbentuk antara 2,33 μm – 15,56 μm dimana ukuran tersebut berpotensi sebagai tempat tumbuhnya sel endotel ($\pm 10 \mu\text{m}$). Paduan PLLA – kolagen coating kitosan berpotensi sebagai kandidat pembuluh darah berdasarkan hasil uji tarik, uji morfologi, uji sitotoksitas dan uji hemolisis yang nilainya mendekati karakteristik ideal pembuluh darah.

Kata kunci: Poly L – Lactic Acid, hollow fiber, spinneret, bypass, pembuluh darah

PENDAHULUAN

Dewasa ini gaya hidup (*life style*) sebagian besar masyarakat Indonesia sudah tidak sehat. Salah satu contohnya adalah konsumsi makanan berlemak. Makanan tersebut mengandung banyak lemak jahat atau *Low Density Lipoprotein* (LDL) yang akan menumpuk di pembuluh darah. Hal itu akan menyebabkan penurunan kualitas pembuluh darah seperti penyempitan pembuluh darah. Laporan World Health Organization (WHO) tahun 2005 memperkirakan 17,5 juta populasi meninggal akibat penyakit jantung dan pembuluh darah, angka tersebut mewakili 30% dari seluruh kematian. Sekitar 80% dari kematian tersebut terjadi pada negara – negara berpendapatan rendah dan menengah. Prevalensi aterosklerosis di tahun 2000 cukup tinggi di Indonesia sekitar 500.000 kejadian baru dan 125.000 meninggal tiap tahun karena manifestasi stroke (Wijaya, A. 2011). Penggunaan bahan alam atau bahan sintesis untuk mengganti bagian pembuluh darah dengan *vascular grafts* telah dilakukan. Biaya yang harus dikeluarkan untuk penanganan pembuluh darah artifisial sintesis cukup tinggi seperti dari bahan *Poly Sulfon* (PS), *expanded Poly Tetra Fluoro Ethylene* (ePTFE) dan *Poly Urethane* (PU). Pengganti pembuluh darah dari material alam berupa *autograft*, *allograft*, dan *xenograft*. Tetapi upaya tersebut dinilai kurang optimal.

Poly L-Lactid Acid merupakan salah satu polimer sintesis. Struktur PLLA menunjang pertumbuhan sel – sel endotel yang sering ditemui di pembuluh darah. Material ini tahan terhadap bahan kimia asam maupun basa, memiliki koefisien gesek yang rendah, tidak terpengaruh oleh radiasi UV, dan biokompatibel (David J. Lentz, et al. 2002). Kandidat pembuluh darah yang baik juga perlu memperhatikan sifat mekanik dan sifat biokompatibilitasnya. Sifat mekanik dapat berpengaruh pada fungsi fisiologisnya ketika dialiri oleh darah.

Sedangkan sifat biokompatibilitas diperlukan karena tubuh sangat rawan terjadi penolakan pada material asing yang dapat mengganggu sistem metabolisme di dalam tubuh (Kakisis, 2005). Berdasarkan hal di atas maka diusulkan pembuatan kandidat pembuluh darah PLLA (*Poly L-Lactid Acid*) dengan penambahan kolagen dan coating kitosan. Penambahan kolagen diharapkan dapat meningkatkan kekuatan mekanik karena dapat meningkatkan nilai *Ultimate Tensile Strength* (Sudatri NW, 2010).

BAHAN DAN METODE

BAHAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah PLLA (*Poly L-Lactic Acid*) dari Polysitech dengan berat molekul 100-125 kDa; Kloroform Merck (USA); Toluena yang dibeli dari Merck (USA) kolagen tipe I (kulit sapi) *Alpha-Gel*; dan kitosan dari cangkang kepiting deasetilasi lebih dari 80% berat molekul 430.000 dengan konsentrasi 1% wt, aquades, dan darah relawan manusia.

METODE

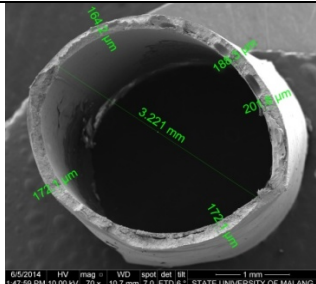
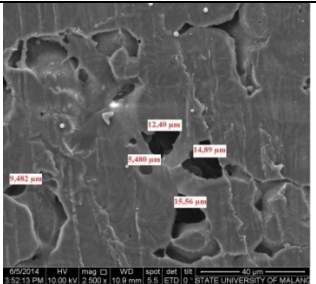
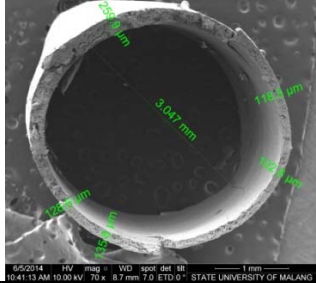
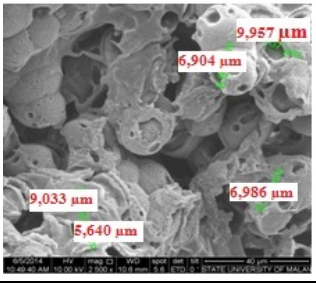
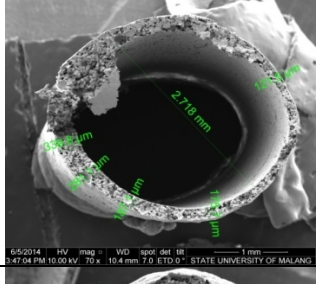
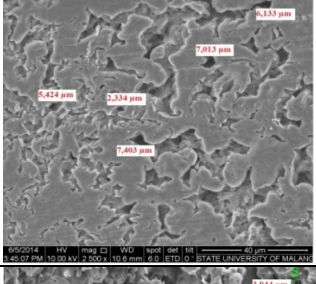
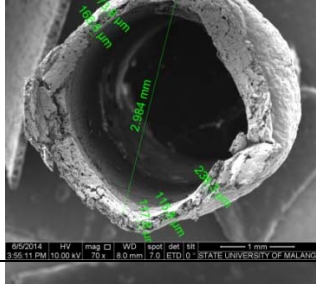
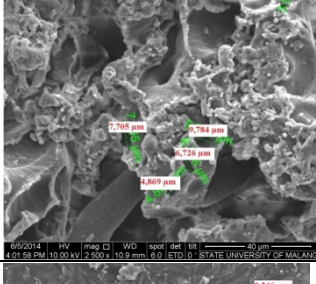
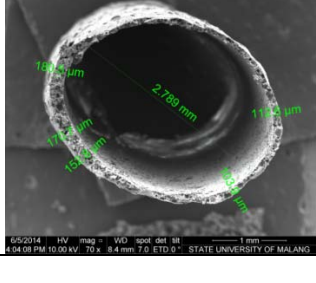
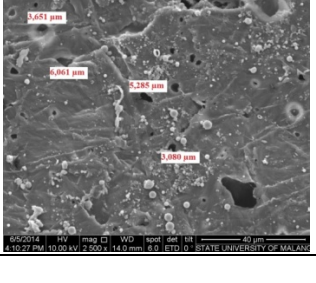
Pembuatan *hollow fiber* diawali dengan melarutkan polimer sintetik *Poly – L – Lactic Acid* (PLLA) dengan bentuk menyerupai kapas ke dalam pelarutnya yaitu kloroform – toluena. Setelah 14 jam larutan terlihat bening yang berarti bahwa larutan telah homogen. Setelah ditambahkan kolagen, larutan berubah warna menjadi putih susu. Kemudian proses pembentukan *hollow fiber* menggunakan *spinneret* dengan tekanan sangat rendah dan pada ujung jarum *spinneret* terdapat bak koagulan. Kemudian dilanjutkan dengan proses coating kitosan dengan metode *dip coating* selama 30 menit pada suhu 25°C dan dikeringkan dengan metode *freeze dried*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada uji morfologi digunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) yang bertujuan untuk

mengetahui struktur permukaan suatu material. Data yang didapatkan berupa ukuran pori dan ukuran diameter *hollow fiber*.

Tabel 1. Gambar uji morfologi variasi komposisi kolagen *hollow fiber* PLLA-Kolagen Coating Kitosan

Konsentrasi Kolagen	FOTO	
0 %		
20 %		
33 %		
50 %		
66 %		

Tabel 2. Ukuran pori dan diameter pada hasil uji morfologi variasi komposisi kolagen *hollow fiber* PLLA-Kolagen Coating Kitosan

	0%	20%	33%	50%	66%
Ukuran Pori (μm)	5,48 – 15, 56	5,46 - 9,96	2,33 – 7,40	3,94 – 7,70	3,08 – 9,25
Diameter (mm)	3,221	3,047	2,718	2,984	2,789

Berdasarkan data di atas dihasilkan ukuran diameter pada kisaran 3 mm yang mana ukuran tersebut sesuai dengan ukuran diameter pembuluh darah arteri koronaria manusia (Fazliogullari, 2010) . Ukuran pori yang dihasilkan pada sampel kolagen 0% yaitu 5,48 – 15,56 μm . Setelah ditambahkan kolagen pada sampel kolagen 20% dan sampel kolagen 33% ukuran pori menurun yaitu pada kisaran 5,46 - 9,96 μm dan 2,33 – 7,40. Hal itu dikarenakan kolagen mengisi pori – pori *Poly L-Lactic Acid* (PLLA) (Furukawa, 2002). Pada sampel kolagen 50% dan sampel kolagen 66% ukuran pori meningkat kembali yaitu pada kisaran 3,94 – 7,70 μm dan 3,08 – 9,25 μm . Hal itu dikarenakan pada konsentrasi kolagen 50% dan 66% pada larutan (PLLA – kolagen) tidak lagi mengisi pori – pori PLLA. Hal tersebut dikarenakan tingginya komposisi kolagen mengakibatkan meningkatnya nilai viskositas. Ketika viskositas tinggi maka pergerakan kolagen dalam mengisi pori menjadi rendah (Ke, 2010).

KESIMPULAN

Paduan *hollow fiber Poly L-Lactic Acid* (PLLA) dan kolagen dengan *coating* kitosan memiliki potensi sebagai kandidat pembuluh darah artifisial berdasarkan hasil uji morfologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu menyelesaikan penyusunan artikel ilmiah ini diantaranya Dr.Prihartini Widiyanti, drg. M.Kes, Drs. Djoniz R, M.Si, Zahrina Mardiana, S.T, dan teman – teman Teknobiomedik angkatan 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Akdis, C.A. 2006. Allergy and hypersensitivity: mechanisms of allergic disease.
Curr Opin Immunol, 18(6):718-26.
- Banerjee, A.2008.Thermal and Morphological Analysis of Collagen-PLLA Electrospun Blends. New Jersey Institute of Technology.
- Cooperman, L. and Michaeli, D. 1984. The immunogenicity of injectable collagen. 1. 1-year prospective study, Journal of the American Academy of Dermatology, Vol.10, No.4, pp. (647-651). In Gorgieva, S and Kokol, V. 2005. Collagen- vs. Gelatine-Based Biomaterials and Their Biocompatibility: Review and Perspectives. Slovenia.
- Fazliogullari, Z., Karabulut A K., Unver Dogan N., Uysal I I. 2010. Coronary Artery Variation and Median in Turkish Cadaver Hearts. Singapore.
- Furukawa, K.S., Ushida T., Toita K. 2002. Hybrid of Gel – Cultured Smooth Muscle Cells with Poly L – Lactic Acid (PLLA) Sponge as a Scaffold Toward Blood Vessel Regeneration. Tokyo.
- Hasan, A., Memicc A., Annabi N., Hossaind M., Paul A., Dokmeci M.R., Dehghani F., Khademhosseini A. 2013. Electrospun Scaffolds for Tissue Engineering of Vascular Grafts. Japan.
- Mothanna Al-Qubaisi, Rosli Rozita, Swee-Keong Yeap, Abdul-Rahman Omar, Abdul-Manaf Ali and Noorjahan B. Alitheen. 2011. Selective Cytotoxicity of Goniiothalamine against Hepatoblastoma HepG2 Cells. Malaysia.

STUDI FABRIKASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELLS*(DSSC) MENGGUNAKAN EKSTRAKSI BAHAN-BAHAN ORGANIK ALAM (*Celosia argentea* DAN *Bougainvillea*)

Muh. Iman Darmawan^{1*}, Hardani¹, Hendra Darmaja¹, Cari¹, Agus Supriyanto¹

¹Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

*Email: Darmawan240290@gmail.com

Abstrak

Sel surya memegang peranan penting dalam produksi energi dimasa depan. Energi yang biasanya berasal dari fosil yang sekarang keberadaannya semakin berkurang dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu banyak para ahli mencari cara untuk menciptakan energi baru/ alternatif, dan *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) merupakan salah satu. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat listrik ekstrak dari bahan-bahan organik alam. Mengetahui pengaruh ekstrak dari bahan-bahan organik alam terhadap peningkatan efisiensi sel surya berbasis *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Material FMIPA UNS. Uji absorbansi menggunakan Spectrophotometer UV Visible 1601 PC dan Uji arus dan tegangan (*I-V*) menggunakan Keithley 202A system source. Hasil ini menunjukkan bahwa beberapa bahan pewarna alami dari ekstraksi bahan organik alam memiliki spektrum absorbansi kisaran 300-800 nm, ini yang menjadikan ekstraksi bahan organik alam perlu untuk diteliti lagi sebagai bahan sensitizer DSSC.

Kata Kunci : *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC), Organik Alam (*Celosia argentea* dan *Bougainvillea*)

PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu kebutuhan mendasar dalam kehidupan di dunia, sehingga kebutuhan energi di dunia terus meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut perlu dikembangkan berbagai energi alternatif yaitu energi terbarukan.

Saat ini teknologi fotovoltaik sangat memiliki kemajuan dibidang energi surya sebagai energi alternatif dan terbarukan. Untuk memproduksi sel surya dengan biaya murah, telah banyak model dengan struktur dan material baru saat ini sedang dikembangkan (Hadipouret *al.* 2008). Panel surya sering kali disebut sel fotovoltaik, fotovoltaik dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik".

Fotovoltaik organik adalah sebuah alternatif untuk menggantikan fotovoltaik anorganik seperti sel surya dan silikon. Polimer terkonjugasi merupakan hal yang menarik dalam hal ini.

Sel surya bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Jumlah penggunaan panel surya di porsir produksi listrik dunia sangat kecil, tertahan oleh biaya tinggi per wattnya dibandingkan dengan bahan bakar fosil - dapat lebih tinggi sepuluh kali lipat, tergantung keadaan (Cari. Dkk, 2013).

Sekarang ini biaya panel listrik surya membuatnya tidak praktis untuk penggunaan sehari-hari di mana tenaga listrik "kabel" telah tersedia. Fotovoltaik organik memiliki banyak fitur yang atraktif diantaranya, berpotensi untuk menjadi divais yang fleksibel, dapat diproduksi dengan teknik yang sederhana dan murah dari segi biaya pembuatannya (Brabec. C.J. 2004).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya fotoelektrokimia, terutama terdiri dari photoelectrode, elektrolit, dan elektroda lawan. *Titanium dioksida* (TiO_2) telah menjadi semikonduktor disukai dalam berbagai studi, sayangnya karena *band gap* yang besar (3 hingga 3,2 eV), TiO_2 menyerap hanya bagian ultraviolet dari matahari sehingga

memiliki efisiensi konversi yang rendah (Gratzel. M. 2001)

Dua dekade terakhir M. Gratzel telah menemukan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) sebagai sebuah devais fotovoltaik. *Dye Sensitized Solar Cells* telah menarik perhatian sebagai suatu *converter energy* dibandingkan sel surya *silicon* (Cari. Dkk, 2013). DSSC menggunakan tiga material aktif, *dye* organik sebagai material yang menyerap foton, lapisan nanokristal logam oksida sebagai material pentransport elektron dan cairan atau lapisan logam oksida sebagai material pentransport *hole* (HTM) (Gren Martin. A. 1982)

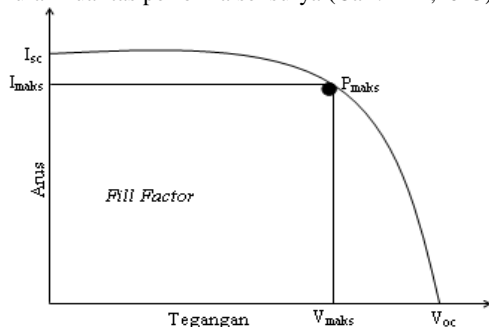
DSSC sangat atraktif untuk diteliti lebih jauh karena memungkinkan untuk menghasilkan efisiensi tinggi dengan biaya produksi murah (Cari. Dkk, 2013). Beberapa penelitian menggunakan bahan dari platinum (Pt) sebagai elektroda lawan pada DSSC. *Platinum* (Pt) dan Karbon (C) adalah material yang umum digunakan sebagai elektroda lawan [(Cari. Dkk, 2013). Pada penelitian ini, akan digunakan *platinum* (Pt) sebagai elektroda lawan pada DSSC berbahan *organic* ekstrak *Celosia argentea* dan *Bougainvillea* (Hagfeldt. et al. 2000)

Dalam DSSC, perwarna alami sebagai sensitizer memainkan peran kunci untuk menyerap foton dari sinar matahari atau lampu dan mengubahnya menjadi arus listrik. Jenis-jenis perwarna seperti kompleks logam, organik dan alami biasanya digunakan sebagai sensitizer.

Prinsip kerja DSSC adalah mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Saat *dye* yang melekat dipermukaan TiO_2 menyerap foton dari cahaya matahari elektron akan tereksitasi ke pita konduksi TiO_2 . Elektron akan terkumpul di TiO_2 melekat *dye* yang ditinggalkan berada dalam keadaan teroksidasi. Selanjutnya elektron akan transfer melalui rangkaian luar menuju lawan.

Performa sel surya adalah kemampuan sel surya mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Gambar 1. Merupakan kurva *I-V* yang menunjukan kemampuan sel dalam memproduksi tegangan dan arus. Pada gambar tersebut diperlihatkan tegangan *open circuit* (V_{oc}), arus *short circuit*

(I_{is}), tegangan maksimum, arus maksimum dan *fill factor*. Saat kondisi *short circuit* (I_{is}), sel akan menghasilkan arus *short circuit*. Saat kondisi *open circuit* tidak ada arus yang mengalir sehingga tegangannya akan menjadi maksimum atau disebut dengan tegangan *open circuit*. *Fill factor* merupakan ukuran kualitas performa sel surya (Cari. Dkk, 2013).



Gambar 1. Kurva I-V DSSC

Fill Factor (FF) merupakan suatu ukuran kuantitatif kualitas suatu sel surya, serta merupakan ukuran luar persegi kurva I-V, *Fill Factor* dapat diperoleh menggunakan persamaan 1.

$$FF = \frac{V_{maks} I_{maks}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (1)$$

Daya maksimum yang dihasilkan sel surya dapat diperoleh melalui persamaan 2.

$$P_{maks} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{cahaya}} \quad (3)$$

Efisiensi sel surya yang merupakan perbandingan kuantitatif dari daya maksimum yang dihasilkan sel (P_{max}) dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}) dapat ditentukan dengan persamaan (Cari. Dkk, 2013).

METODE PENELITIAN.

TiO₂ yang digunakan dalam penelitian ini adalah Titanium (IV) Oxide, anatase Titanium dioxide (nano powder) 99,8% *trace metals basis*. TiO₂ sebanyak 0.5 gram dilarutkan dalam 2 ml etanol diaduk selama 30 menit menggunakan *vortex stirrer*.

TiO₂ dilapiskan ke atas kaca konduktif *Fluorine Tin Oxide* (FTO) dengan luasan pendeposisian 1.5cmx2cm menggunakan metode *spin coating*. Lapisan TiO₂ yang sudah terdeposiasi dipanaskan pada suhu 500°C selama 60 menit diatas *hot plate*. Dalam penelitian ini digunakan *dye* dari ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville*, 10 gram daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* dihaluskan menggunakan mortar sampai halus. Daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* yang sudah halus dilarutkan dalam 35 ml etanol sambil diaduk selama 60 menit dan didiamkan selama satu hari agar ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* yang dihasilkan homogen. Kontruksi DSSC yang digunakan adalah sistem *sandwich*. Elektroda kerja berupa kaca konduktif FTO yang telah dilapisi TiO₂ yang sudah direndam dengan *dye* daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville*

Elektroda lawan berupa kaca konduktif FTO yang telah dilapisi lapisan tipis Pt (*Hexachloroplatinic*

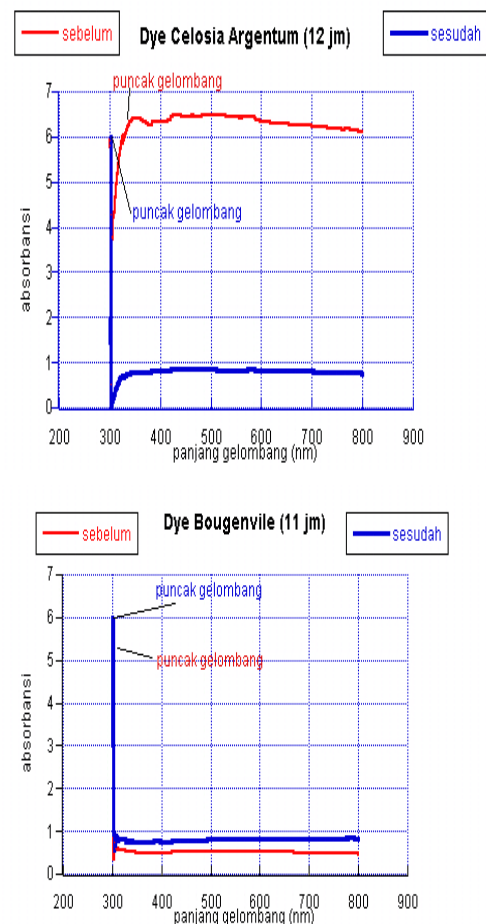
(IV) *acid* 10%). Elektrolit terbuat dari Sodium 3.3 gr, Iodien 0.528 gr, HPA 0.005481 gr, Acetonitrille 30 ml yang ditetesi diantara elektroda lawan dan elektroda kerja diberikan pembatas menggunakan *keyboard protector* agar tidak terjadi hubungan arus pendek.

Elektroda kerja dan elektroda lawan serta elektrolit yang telah ditetesi diantara keduanya di tumpuk kemudian dijepit menggunakan *clipboard*. Kemudian DSSC dikarakterisasi arus dan tegangannya menggunakan *ketlay*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

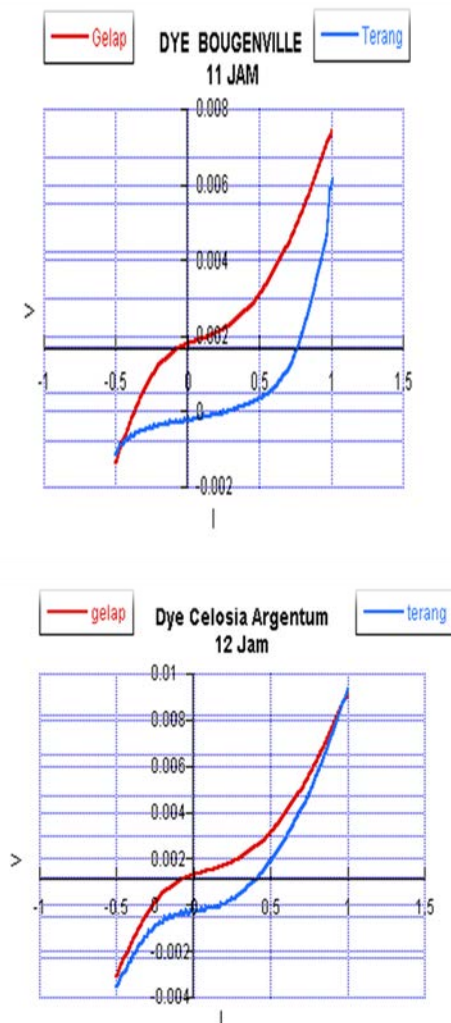
Larutan *dye* dibuat dari ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* yang dapat menyerap dan meneruskan spectrum cahaya tampak. Zat warna ini berfungsi sebagai *Dye Sensitized Solar Cells* menggunakan ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* sebagai *dye sensitizer* telah dilakukan pengujian ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* menggunakan spectrophotometer UV Visible 1601 PC untuk mengetahui daya absorbansi ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville* terhadap panjang gelombang tampak. (2.1)

Spectrum absorbansi diukur pada rentang 200-800 nm. Hasil kareterisasi *spectrum* absorbansi gambar 2 memperlihatkan bahwa spektrum serapan ekstrak daun *Celosia Argentums* 340-800 nm dan *Bougenville* terdapat pada rentang 305-800 nm (2.2)



Gambar 2. Grafik Absorbansi ekstrak daun *Celosia Argentums* dan *Bougenville*

Karakterisasi arus-tegangan (I-V) adalah suatu metode untuk mengetahui kinerja dari *Dye Sensitized Solar Cells* yaitu seberapa besar kemampuan DSSC dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik pengukuran I-V dilakukan pada kondisi gelap dan terang yaitu dibawah penyorotan lampu halogen dengan intensitas sebesar 1991 W/m^2 . Untuk nilai konduktivitas dari DSSC dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Grafik konduktivitas ekstrak daun ekstrak daun *Celosia Argentum* dan *Bougenville*

Dari gambar 3 menunjukkan kurva I-V nilai konduktivitas dari elektrolit pada arus terang lebih besar dari pada arus gelap. Efisiensi yang dihasilkan oleh DSSC yang menggunakan ekstrak daun *Celosia Argentum* dan *Bougenville* dengan perbedaan *treatment* pada TiO_2 disajikan pada tabel 1.

Hasil optimasi DSSC dari kedua bahan ekstraksi menunjukkan efisiensi didapatkan pada penelitian ini adalah $1.7 \times 10^{-1}\%$ yaitu pada DSSC dengan metode perendaman *dye Celosia Argentum* selama 12 jam sedangkan *dye Bougenville* dengan menggunakan metode yang sama tapi beda lama waktu perendaman 11 jam menghasilkan $2.2 \times 10^{-1}\%$, dengan menggunakan Pt (*Hexachloroplatinic (IV) acid* 10%) sebagai elektroda lawan.

Tabel I. Efisiensi DSSC

Ekstrak *Celosia Argentum* dan *Bougenville*

Dye	Voc (mV)	Isc (μA)	FF	Pmax	η (%)
<i>Bougenville</i>	6.7×10^{-1}	2.7×10^{-4}	22.20	6.4×10^{-4}	$2.2 \times 10^{-1}\%$
<i>Celosia Argentum</i>	4.2×10^{-1}	3.9×10^{-4}	12.93	5.2×10^{-4}	$1.7 \times 10^{-1}\%$

Dalam penelitian ini digunakan elektrolit cair, dimana elektrolit tersebut semakin lama digunakan semakin habis dikarenakan menguap dan menghasilkan katalis transfer yang kurang maksimal. Sesuai dengan fungsi dari elektroda/ muatan. Jika elektrolit habis atau bahkan tidak ada maka aktivitas transfer electron akan berkurang/ tidak ada.

KESIMPULAN

Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) menggunakan bahan ekstrak daun *Celosia Argentum* dan *Bougenville* dengan perbedaan waktu perendaman telah difabrikasi. Dengan adanya arus dan tegangan yang dihasilkan. Luasan kurva menunjukkan DSSC dari ekstrak daun *Celosia Argentum* dan *Bougenville* dengan metode perendaman menghasilkan kurva I-V baik. Elektroda lawan merupakan salah satu komponen penting yang tidak biasa dilepaskan pada struktur DSSC. Pemberian Pt (*Hexachloroplatinic (IV) acid* 10%) pada elektroda lawan memberikan performa yang lebih baik pada DSSC. Pt (*Hexachloroplatinic (IV) acid* 10%) berfungsi sebagai katalis dalam mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Efisiensi yang dihasilkan oleh masing-masing metode perendaman *Bougenville* selama 11 jam adalah $2.2 \times 10^{-1}\%$ sedangkan metode perendaman *Celosia Argentum* selama 12 jam adalah $1.7 \times 10^{-1}\%$

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pengelola Laboratorium FMIPA UNS Surakarta dan dukungan LPPM Hibah Pascasarjana UNS Surakarta dengan No. 301A/ UN27 / PN / 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Brabec C J. 2004. Organic Photovoltaic: Technology and Market. *Journal of Solar Energy Materials & Solar Cells* 83 (2004) 273-292
- Cari, Nurussaniah, Boisandi, Anita, Supriyanto Agus, Suryana Risa, "Studi Pengaruh Konsentrasi Polypyrrole (P3HT) Terhadap Peningkatan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells". Seminar Nasional 2nd Lontar Physics Forum 2013. ISBN: 978-602-8047-80-7:LPF1331-1.
- "Studi Penggunaan Polypyrrole (P3HT) dan Grafit Terhadap Kinerja Solar Cells". *Jurnal Fisika* Vol.3.No.1, Mei 2013.
- Gratzel, M., 2001, Photoelectrochemical cells, *Nature* 2001, 414, 338-344.

- Grenn, Martin A. 1982. **Solar Cell Operating Principles Technology And System Application**”prenticell Hall, Inc Evylewood Cliffs N,J.
- Hadioper,A.,Boer dan Blom,P.W.M. 2008.**Organik Tandem and Multi-Junction Solar Cells,,J Of Advance Fuctionla Material**. Willey Interscience.
- Hagfeldt A and Gratzel M. 2000. **Molecular Photovoltaics. Account Chem Res** 33 269-277.

PENGARUH SUHU DEPOSISI PADA STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK Film Tipis ZnO:Ga

Putut Marwoto*, Fatiatun dan Sulhadi

Materials Research Group, Jurusan Fisika

FMIPA Universitas Negeri Semarang

Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229

*Email : pmarwoto@yahoo.com

Abstrak

Film tipis Zn:Ga telah dideposisikan dengan metode *dc-magnetron sputtering* (*homemade*) di atas substrat kaca korning pada tekanan deposisi 500 mtorr. Film ditumbuhkan masing-masing pada suhu 350°C dan 450°C. Struktur dan sifat optik film tipis yang dideposisikan telah dikarakterisasi dengan menggunakan EDX, XRD dan spektrofotometer UV-vis. Analisis dengan EDX menunjukkan bahwa film yang terdposisi merupakan film tipis ZnO:Ga. Hasil investigasi dengan XRD menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan merupakan polikristalin dengan struktur heksagonal wurtzite yang mempunyai arah orientasi sumbu-c tegak lurus pada substrat. Film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C mempunyai kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan film yang dideposisikan pada suhu 450°C. Hasil observasi dengan SEM menunjukkan bahwa film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C mempunyai ukuran butir yang lebih besar dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan pada suhu deposisi 450°C. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mencapai transmitansi optik ~ 85%. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mempunyai energi bandgap ~3,27 eV, sedangkan film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 450°C mempunyai energi bandgap ~3,23 eV.

Kata kunci : Film tipis ZnO:Ga, *dc magnetron sputtering*

PENDAHULUAN

ITO (*indium tin oxide*) telah digunakan sebagai bahan TCO (*transparent conductive oxide*) seperti elektroda transparan dalam sel surya, panel display plasma dan sebagainya. Bahan yang diaplikasikan sebagai TCO harus mempunyai sifat transparans yang tinggi dalam daerah tampak, resistivitas rendah, dan stabil terhadap panas. ITO digunakan karena mempunyai sifat optik dan elektrik yang bagus [1]. Film tipis ITO mempunyai konduktivitas $\sim 10^4 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ dan transmitansi ~85% dengan bandgap ~3,7 eV [2]. Namun demikian, bahan tersebut memiliki kelemahan, yaitu biaya produksi yang tinggi, dan stabilitas yang rendah [1]. Oleh karena itu perlu dikembangkan material baru yang mempunyai sifat yang lebih bagus tetapi masih efisien secara ekonomi.

ZnO (*zinc oxide*) merupakan bahan semikonduktor yang memiliki bandgap ~ 3,37 eV dengan aplikasi yang luas di bidang elektronik dan optoelektronik [3]. Selain itu, material ZnO berharga murah dan non-toksik [4]. Akan tetapi ZnO mempunyai kelemahan, yaitu dapat mengalami penurunan konduktivitas listrik yang disebabkan terjadinya proses resapan kimia (*chemisorption*) gas oksigen pada permukaan film tipis ZnO [1]. Unsur-unsur golongan III seperti B, In, Al dan Ga biasa digunakan untuk meningkatkan konduktivitas ZnO [5]. Di antara bahan doping, gallium (Ga) merupakan bahan yang paling menjanjikan karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu atom Ga mempunyai jejari yang hampir sama dengan zinc (Zn) sehingga hanya menyebabkan deformasi kekisi yang kecil meskipun konsentrasi Ga tinggi. Selain itu, Ga kurang reaktif dan lebih tahan terhadap oksidasi [6].

Salah satu teknik fabrikasi ZnO:Ga yang populer adalah teknik *sputtering* [6,7,8]. Pada kertas kerja sebelumnya, telah dilaporkan pengaruh tekanan gas argon pada sifat film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan

dengan metode *dc magnetron sputtering* [8]. Dalam penelitian ini telah dipelajari pengaruh suhu deposisi pada struktur mikro dan sifat optik film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan dengan metode *dc magnetron sputtering*.

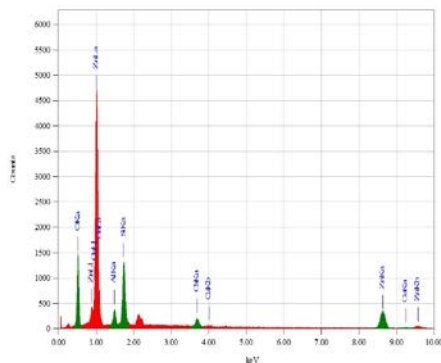
EKSPERIMEN

Film tipis ZnO:Ga dideposisikan pada substrat kaca korning dengan menggunakan reaktor *homemade dc-magnetron sputtering* pada tekanan 500 mtorr. Target berbentuk pelet berdiameter 2,5 cm dengan massa total 10 gram dibuat dari serbuk ZnO dengan kemurnian 99,999%. Serbuk Ga₂O₃ dengan kemurnian 99,999% ditambahkan pada target ZnO sebagai doping. Dalam eksperimen, telah digunakan 2% (massa) doping Ga. Sebagai gas *sputtering* telah digunakan gas argon dengan tingkat kemurnian tinggi. Substrat berukuran 1x1 cm² dicuci dengan larutan aseton dan metanol menggunakan pembersih ultrasonik, kemudian dikeringkan sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Masing-masing sampel film tipis ZnO:Ga dideposisikan dalam waktu 1 jam dengan suhu 350°C dan 450°C.

Setelah proses deposisi, komposisi elemen-elemen dan senyawa yang terkandung dalam film ZnO:Ga yang terdposisi dianalisis dengan menggunakan *energy dispersive X-ray* (EDX), sedangkan struktur kristalnya diinvestigasi dengan menggunakan analisis *X-ray diffraction* (XRD) dengan radiasi CuK_α ($\lambda = 0,15406 \text{ nm}$). Struktur morfologi film diobservasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan sifat optik film ZnO:Ga dikarakterisasi dengan menggunakan UV-vis spektrofotometer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel ZnO:Ga yang dideposisikan di atas substrat kaca korning pada tekanan 400 mtorr dan suhu deposisi 450°C telah dianalisis dengan menggunakan spektroskopi EDX dan spektrumnya ditunjukkan pada Gambar 1. Spektrum EDX film tipis yang dideposisikan menunjukkan komposisi elemen-elemen oksigen (O) 29,43 %, seng (Zn) 51,90 %, dan galium (Ga) 2,95 %, sedangkan dalam bentuk senyawa diperoleh ZnO 64,59 % dan Ga₂O₃ 3,96 %. Berdasarkan hasil analisis EDX tersebut dapat ditunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga telah berhasil dideposisikan dalam eksperimen.

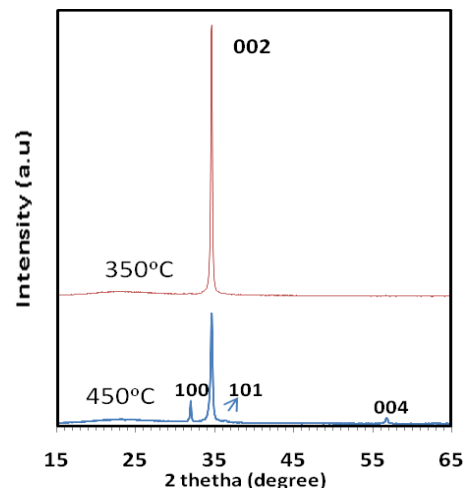


Gambar 1. Spektrum EDX sampel film tipis ZnO:Ga

Gambar 2 memperlihatkan pola XRD film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada tekanan 400 mtorr dengan suhu deposisi masing-masing 350°C dan 450°C. Kedua film menunjukkan puncak difraksi yang bersesuaian pada bidang (002) dari struktur ZnO heksagonal, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan butiran-butiran (grain) tegak lurus pada permukaan substrat [1]. Intensitas relatif bergantung pada temperatur deposisi. Film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 450°C menunjukkan intensitas yang lebih rendah dibandingkan film yang ditumbuhkan pada suhu 350°C. Peningkatan suhu dari 350°C ke 450°C berpengaruh secara signifikan pada pola spektrum film ZnO:Ga yang terd deposisi. Puncak-puncak difraksi yang bersesuaian pada bidang (100), dan pada bidang (101) dan (004) yang lemah tampak pada film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 450°C. Pola difraksi tidak menunjukkan puncak yang bersesuaian dengan Ga₂O₃. Hasil ini konsisten dengan eksperimen sebelumnya [8]. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa film ZnO:Ga yang dideposisikan merupakan film polikristalin yang mempunyai struktur heksagonal wurtzite dengan arah orientasi sumbu-*c* tegak lurus pada substrat [7].

Berdasarkan spektrum XRD film tipis ZnO yang diperoleh dapat diungkap parameter struktur ZnO:Ga sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. *Crystall size* dapat diukur dengan menggunakan formula Debye-Scherrer [5]:

$$D = (0,9\lambda) / (\beta \cos \theta)$$



Gambar 2. Spektrum XRD film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C dan 450°C

Berdasarkan spektrum XRD film tipis ZnO yang diperoleh dapat diungkap parameter struktur ZnO:Ga sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. *Crystal size* dapat diukur dengan menggunakan formula Debye-Scherrer [5]:

$$D = (0,9\lambda) / (\beta \cos \theta)$$

dengan *D* adalah diameter kekrystalan pembentukan film, λ adalah panjang gelombang radiasi CuK_{α} ($\lambda = 0,15406$ nm), β adalah FWHM (radian) dan θ adalah sudut Bragg.

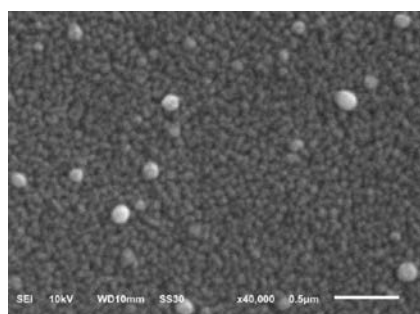
Tabel 1 Parameter struktur ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu yang berbeda

Suhu deposisi (°C)	2θ (°)	Konstanta kekisi <i>c</i> (Å)	Crystal size (nm)	Spasi <i>d</i> (Å)
350	34,59	5,19	26	2,59
450	34,63	5,17	26	2,58

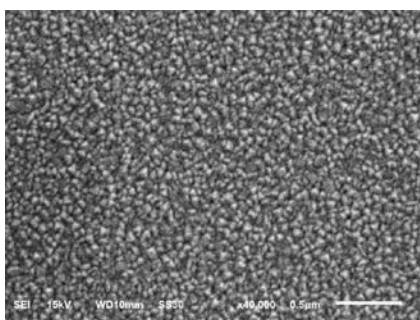
Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa peningkatan suhu deposisi dari 350°C ke suhu 450°C menunjukkan pergeseran sudut Bragg dari 34,59° ke 34,63° sehingga spasi kekisi *d* berubah dari 2,59 Å menjadi 2,58 Å. Pergeseran posisi sudut puncak difraksi (002) tersebut konsisten dengan hasil penelitian Shin et. al [1]. Kedua sampel menunjukkan FWHM (0,3225°) dan *crystal size* yang sama (26 nm), namun konstanta kekisi-*c* dan spasi kekisi *d* sedikit memendek ketika suhu deposisi ditingkatkan dari 350° ke 450°. Dibandingkan dengan ZnO standard ($2\theta = 34,45^\circ$ dengan $c = 5,21$ Å) [6], kedua sampel menunjukkan sudut difraksi yang lebih besar dengan konstanta *c* dan spasi kekisi *d* yang lebih kecil. Hal ini terjadi karena jejari ionik Ga³⁺ (0,62 Å) lebih pendek daripada jejari ionik Zn²⁺ (0,74 Å). Memendeknya konstanta kekisi-*c* kemungkinan karena meningkatnya jumlah ion Ga³⁺ yang menyisip ke dalam kristal ZnO:Ga [5]. Pada suhu 450°C, partikel-partikel yang berada di sekitar substrat memiliki energi yang tinggi sehingga sebagian partikel yang menumbuk

substrat terpantul kembali dan menghasilkan film ZnO:Ga dengan orientasi bidang (100), (101) dan (004). Energi yang cukup besar akan mengakibatkan arah orientasi pertumbuhan kristal berubah dan menyebabkan menurunnya kristalinitas film ZnO:Ga yang terdepositasi [6]. Tumbukan antara partikel dengan substrat atau tumbukan antar partikel berenergi tinggi dapat menyebabkan terputusnya ikatan Zn-O maupun Ga-O sehingga menurunkan derajat kristalinitas film. Selain itu, akibat tumbukan partikel berenergi tinggi dapat menyebabkan arah orientasi kristal dalam bidang (002) menjadi rusak, sehingga intensitas puncak spektrum XRD menurun tajam, sebagaimana ditunjukkan oleh spektrum XRD pada Gambar 1. Dengan demikian, dapat diungkapkan bahwa pada eksperimen ini, peningkatan suhu deposisi dapat menurunkan kualitas kristal film ZnO:Ga. Hasil ini bertentangan dengan hasil penelitian Shin et al [1] yang melaporkan bahwa peningkatan suhu dari 100 – 300°C dapat meningkatkan kualitas kristal. Munculnya orientasi bidang (100) dan (101) juga dilaporkan oleh Rakhsani et. al [9] dari film ZnO:Ga yang ditumbuhkan dengan metode elektrodposisi. Film ZnO:Ga yang mempunyai orientasi bidang (004) juga telah diperoleh Xue et al [10].

Gambar 3 memperlihatkan struktur morfologi film tipis ZnO:Ga yang diobservasi dengan menggunakan SEM. Film yang ditumbuhkan dengan suhu 350°C menunjukkan permukaan film yang kasar dengan ukuran butiran (*grain size*) berdiameter ~100 nm dengan susunan yang rapat. Pada permukaan film tersebut tampak butiran-butiran yang tersebar tidak merata, agak menonjol dan berwarna lebih terang dengan ukuran butir lebih besar berdiameter ~150 nm. Butiran-butiran tersebut kemungkinan terbentuk dari molekul-molekul Ga_2O_3 atau ion-ion Ga^{3+} yang menggerombol dan membentuk *cluster*. ~100 nm.



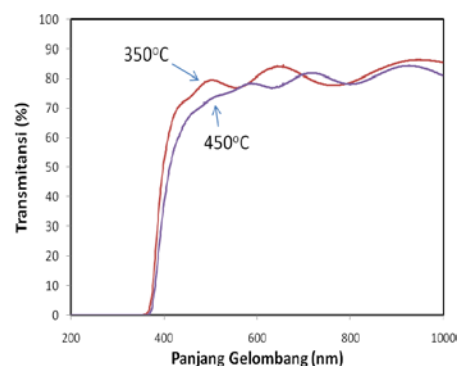
(a) Suhu 350°C



(b) Suhu 450°C

Gambar 3. Citra SEM film ZnO yang ditumbuhkan pada suhu deposisi: (a) 350°C dan (b) 450°C.

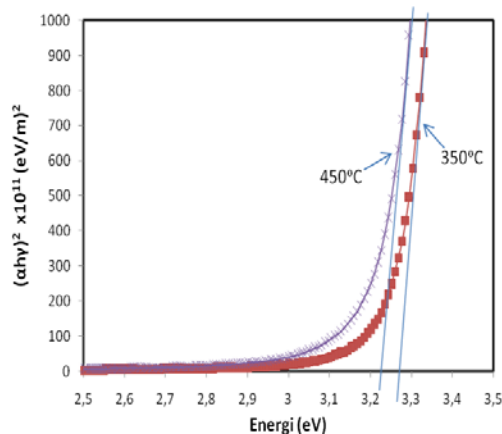
Struktur permukaan dengan ukuran butir lebih kecil (diameter ~ 50 nm) dan lebih rapat dapat dilihat pada film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 450°C. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 450°C mempunyai struktur yang lebih homogen dibandingkan dengan film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C. Pada suhu substrat 450°C, partikel-partikel yang mencapai substrat mempunyai energi yang tinggi, sehingga film yang terdepositasi membentuk kristal dengan jarak antar atom yang lebih rapat dan menghasilkan film dengan permukaan yang lebih mampat dan kompak sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Karena energinya cukup tinggi, pada suhu 450°C molekul-molekul Ga_2O_3 atau ion-ion Ga^{3+} dapat terdistribusi secara merata. Namun pada suhu substrat 350°C, partikel-partikel yang mencapai substrat energinya lebih kecil sehingga susunan atom-atomnya lebih renggang. Hal ini menyebabkan ukuran butiran lebih besar. Molekul Ga_2O_3 mempunyai massa yang lebih besar dibandingkan dengan molekul ZnO, sehingga distribusinya tidak merata seperti tampak pada Gambar 3.



Gambar 4. Transmittansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C dan 450°C

Transmittansi film tipis ZnO:Ga sebagai fungsi panjang gelombang dalam range antara 200 – 1000 nm telah diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-vis diperlihatkan dalam Gambar 4. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa suhu deposisi berpengaruh pada transmittansi film tipis ZnO:Ga. Transmittansi optik film yang dideposisikan pada suhu 350°C mencapai 85%. Transmittansi ini sama dengan transmittansi ITO [1,2] dan ZnO:Ga yang ditumbuhkan dengan rf magnetron-sputtering [11]. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mempunyai transmittansi optik yang lebih tinggi dibandingkan dengan transmittansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 450°C. Hal ini terjadi karena film yang dideposisikan pada suhu 450°C mempunyai kualitas kristal yang lebih rendah dan kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C. Hasil ini konsisten dengan pola spektrum XRD dan SEM film ZnO:Ga yang dideposisikan.

Energi bandgap (E_g) film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan masing-masing pada suhu 350°C dan 450°C diperlihatkan pada Gambar 5. Nilai E_g diperoleh dengan melakukan plotting α^2 vs. $h\nu$ (α adalah koefisien absorpsi dan $h\nu$ adalah energi foton) dan mengekstrapolasi kurva plotting tersebut. Perpotongan garis lurus hasil ekstrapolasi dengan sumbu energi menghasilkan energi bandgap film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan.



Gambar 5. Energi bandgap film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C dan 450°C.

Gambar 5 menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mempunyai energi bandgap ~3,27 eV, sedangkan film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 450°C mempunyai energi bandgap ~3,23 eV. Dengan demikian, lebar energi bandgap berkurang ketika suhu deposisi ditingkatkan dari 350°C menjadi 450°C. Energi bandgap yang diperoleh dalam eksperimen lebih kecil dibandingkan dengan energi bandgap ZnO tanpa doping (~3,3 eV) [6]. Hal ini diduga terjadi karena memendeknya konstanta kekisi- c dan spasi kekisi d sebagaimana ditunjukkan pada pola spektrum XRD yang diperoleh.

KESIMPULAN

Film tipis Zn:Ga telah berhasil ditumbuhkan dengan metode dc-magnetron sputtering (homemade) di atas substrat kaca korning pada tekanan deposisi 500 mtorr. Film ditumbuhkan masing-masing pada suhu 350°C dan 450°C. Film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan mempunyai struktur polikristalin dengan struktur heksagonal wurtzite dengan arah orientasi sumbu- c tegak lurus pada substrat. Suhu deposisi berpengaruh secara signifikan pada struktur film ZnO:Ga. Struktur permukaan film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C tumbuh dengan ukuran butiran yang lebih besar dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan dengan suhu deposisi 450°C. Transmittansi optik film yang dideposisikan pada suhu 350°C mencapai 85%. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu deposisi 450°C mempunyai transmittansi optik yang lebih rendah dibandingkan dengan transmittansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mempunyai energi bandgap ~3,27 eV, sedangkan film

tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 450°C mempunyai energi bandgap ~3,23 eV.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Sdr. Dwi Suprayogi, SSi dan Edy Wibowo, MSc yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. H. Shin, Y. H. Joung, dan S. J. Kang (2009), Influence of the substrate temperature on the optical and electrical properties of Ga-doped ZnO thin films fabricated by pulsed laser deposition, *J. Mater Sci: Mater Electron* 20, 704 – 708.
- [2] O. Tuna, Y. Selamat, G. Aygun dan L. Ozyuzer (2010), High quality ITO thin films grown by dc and RF sputtering without oxygen, *Journal of Physic D: Appl. Phys.* 43, 0055402 (7 pp)
- [3] A. E. Rakhani, A. Bumajdad, J. Kokaj, dan S. Thomas (2009), Structure, composition and optical properties of ZnO:Ga films electrodeposited on flexible substrate, 97, 759 – 764.
- [4] J. Y. Kao, C. C. Tsao, W. S. Li dan C. Y. Hsu (2012), Optimization of gallium-doped ZnO thin films grown using Grey-Taguchi technique, *J. Comput. Electron.*, Vol. 11, 421- 430.
- [5] L. Fang, K. Zhou, F. Wu, Q. L. Huang, X. F. Yang dan C. Y. Kong (2010), Effect of Ga doping concentration on electrical and optical properties of Nano-ZnO:Ga transparent conductive films, *J. Supercond. Magn.* Vol. 23, 885 – 888.
- [6] Q-B. Ma, Z-Z. Ye, H-P. He, L-P. Zhu, B-H. Zhao (2007), Effects of deposition pressure on the properties of transparent conductive Zn:Ga films prepared by DC reactive magnetron sputtering, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 10, 167 – 172.
- [7] K. H. Kim, dan E. Arifin (2007), The effect of gallium concentration and substrate temperature on the properties of Ga-doped ZnO thin films sputtered from powder compacted target, *Metals and Materials International*, Vol. 13 (6), 489 – 494.
- [8] P. Marwoto, Fatiatun, B. Astuti, Sulhadi, D. Aryanto, dan Sugianto (2014), Effect of argon pressure on the properties of ZnO:Ga thin films deposited by DC magnetron sputtering, *Makalah diseminarkan pada International Conference of Theoretical and Applied Physics (ICTAP) 2014*, 16 – 17 Oktober 2014.
- [9] A. E. Rakhani, A. Bumajdad, J. Kokaj, dan S. Thomas (2009), Structure, composition and optical properties of ZnO:Ga films electrodeposited on flexible substrates, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 97, 759 – 764.

- [10] Y. Xue, H. He, Y. Jin, B. Lu, H. Cao, J. Jiang, S. Bai, dan Z. Ye (2013), Effects of oxygen plasma treatment on the surface properties of Ga-doped ZnO thin films, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, DOI 10.1007/s00339-013-7718-z.
- [11] X. Yu, J. Ma, F. Ji, Y. Wang, X. Zhang, C. Cheng, dan H. Ma (2005), Effects of sputtering power on the properties of ZnO:Ga films deposited by rf magnetron-sputtering at low temperature, *Journal of Crystal Growth* 274, 474 – 479.

STUDI AWAL SIFAT DIELEKTRIK KOMPOSIT PVDF/SiO₂

Woro Setyarsih^{1*}, Lydia Rohmawati², M. Sukron³

^{1,2,3} Program Studi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

*Email : lydiarohmawati@gmail.com

Abstrak

Keberadaan silika (SiO₂) yang cukup melimpah di alam dan dapat ditemukan dalam kandungan pasir pantai ataupun pada lumpur Sidoarjo, menjadikan salah satu objek bahan penelitian untuk digunakan banyak aplikasi seperti perangkat elektronik, salah satunya baterai superkapasitor. Dalam baterai superkapasitor ini diperlukan suatu bahan yang memiliki konstanta dielektrik yang baik dan stabil terhadap pengaruh lingkungan, terutama pada penyekat antara dua elektroda. Bahan yang memiliki karakteristik tersebut adalah silika dan PVDF. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit PVDF/SiO₂ dengan variasi % berat silika. Dari penambahan % berat silika ini maka dapat diketahui nilai dielektrik dari komposit tersebut. Metode pada penelitian ini yaitu dengan mensintesis silika dari lumpur Sidoarjo menggunakan metode kopresipitasi dan dilanjutkan dengan mengkomposisikan PVDF fase- β dan silika. Hasil komposit ini tersebut dikarakterisasi dengan XRD, FTIR, SEM, dan LCR meter. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa SiO₂ LuSi memiliki fase kristalin dengan ukuran partikel 44,27 nm, dan membran PVDF diperoleh fase- β dengan perlakuan didiamkan selama 1 minggu dan di panaskan pada suhu 90⁰C selama 5 jam. Komposit PVDF/SiO₂ dengan penambahan 0,16% berat silika memiliki nilai konstanta dielektrik paling tinggi sebesar 1984,41 F/m.

Kata kunci : Bahan dielektrik, komposit PVDF/SiO₂, variasi % berat SiO₂.

PENDAHULUAN

Lumpur Sidoarjo yang merupakan bencana alam, ternyata memiliki kandungan silika paling banyak dibandingkan unsur lain. Eksplorasi silika dari bahan alam lumpur Sidoarjo tersebut telah dilakukan Januar H.P., Ahmad (2013) dan mendapatkan kemurnian material SiO₂ hingga 98,5% dengan ukuran diameter partikel antara 4,119 nm – 26,824 nm dengan fase amorf. Pemanfaatan SiO₂ bahan alam tersebut hingga saat ini masih diteliti untuk material anti korosi (Arifudin Z., A., 2013). Aplikasi penggunaan silika pada industri saat ini semakin meningkat terutama penggunaan silika yang memiliki ukuran partikel kecil sampai dengan skala nano. Beberapa teknik/metode untuk memperoleh ukuran silika sampai skala nano, salah satunya adalah metode kopresipitasi. Salah satu penelitian sintesis silika yang dilakukan Hadi *et al.*, (2011) yaitu menggunakan metode kopresipitasi dengan penghematan waktu pembuatan *sodium silicate* yang cukup singkat kurang dari 2 jam dibandingkan dengan *alkali fusion* yang memerlukan waktu cukup lama.

SiO₂ dapat diaplikasikan sebagai bahan dielektrik pada baterai superkapasitor, jika dikomposisikan dengan bahan lain yaitu PVDF (*Polyvinylidene fluoride*). PVDF merupakan polimer yang mempunyai sifat piezoelektrik amat kuat (Esterly, D.M., 2002: 1), yaitu material yang dapat mentransfer energi mekanik menjadi energi listrik, atau sebaliknya. Material ini banyak diterapkan untuk mendeteksi gaya, deformasi, dan pengontrol perubahan kondisi suatu sistem. PVDF fase- β memberikan efek piezoelektrik yang paling besar (Andrew J. Lovinger, 2010). PVDF ini juga memiliki permitivitas dan dielektrik yang tinggi, serta faktor disipasi yang rendah, sehingga baik digunakan sebagai bahan dielektrik (Esterly, D.M., 2002: 6). Komposit PVDF fase- β untuk aplikasi bahan dielektrik telah dilakukan oleh Akash Katoch (2009) dengan mengkomposisikan PVDF/SiO₂ dan PVDF/MWCNT menggunakan pelarut DMF dengan variasi persentase

berat SiO₂ dan MWCNT. Dari komposit tersebut diperoleh nilai dielektrik tertinggi dari PVDF/SiO₂ yaitu 32 F/m pada 2% berat SiO₂ dan PVDF/MWCNT dengan nilai dielektrik 36 F/m pada 10% berat MWCNT. Pada penelitian ini preparasi sampel PVDF digunakan pelarut NMP yang telah dilakukan oleh Restuti, Hermasari (2013).

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dengan adanya variasi % berat silika pada komposit tersebut memberikan pengaruh terhadap nilai dielektriknya.

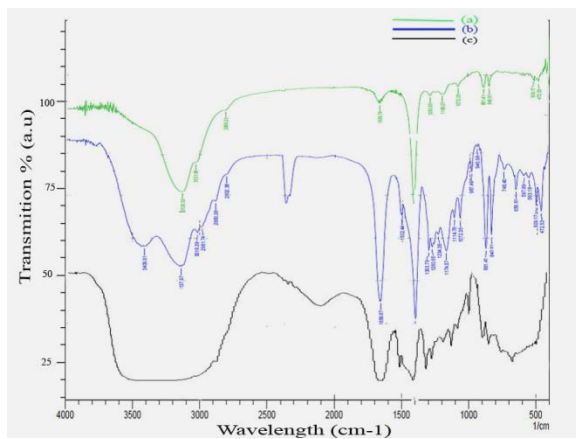
METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan untuk membuat komposit ini adalah PVDF, NMP, dan LuSi. Sintesis silika LuSi menggunakan metode kopresipitasi kemudian dikalsinasi pada suhu 800⁰C selama 17 jam. Untuk komposit PVDF/SiO₂, 10% berat PVDF dilarutkan dalam 84% berat NMP kemudian ditambahkan 6% berat NH₄Cl dan SiO₂ dengan variasi % berat yaitu 0,16%, 0,32%, dan 0,4%. Campuran bahan membran tersebut selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 40⁰C selama 30 menit. Larutan tersebut selanjutnya dicetak dengan menggunakan cawan petri dan kemudian didiamkan pada suhu ruang selama 1 minggu lalu direndam dalam bak koagulasi yang berisi campuran aquades dan *ethanol*. Selanjutnya dicuci dengan aquades, dikeringkan dan dikarakterisasi dengan LCR meter, (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy.

HASIL PENELITIAN

A. Analisis FTIR untuk PVDF fase- β

Analisis PVDF fase- β dengan menggunakan FTIR *Spectra* (range panjang gelombang dari 4000 sampai 400 cm⁻¹), dalam pengujian sampel diberi perlakuan yang berbeda. Untuk hasil pengujian FTIR dari ketiga sampel tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.

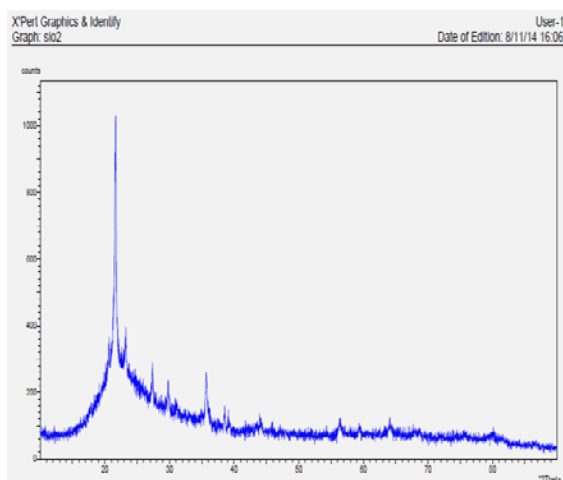


Gambar 1. FTIR spectra dari PVDF+NMP+NH₄Cl (pure) (a) Di-diamkan selama 1 minggu dan pemanasan 90°C selama 5 jam (b) Di-diamkan selama 1 minggu (c) Tanpa di-diamkan

Dari hasil pengujian pada ketiga sampel yang ditunjukkan pada Gambar 1, dari jurnal (Katoch, 2009) Fase- β terdapat pada puncak transmisi: 515.98, 445.72 cm^{-1} dan 842.86 cm^{-1} , sedangkan Fase- α terjadi dipuncak transmisi: 417.91, 761.36, 855.87 dan 974.92 cm^{-1} . Untuk sampel (c) puncak transmisi terjadi di 658.99, 841.14 cm^{-1} , kemudian untuk sampel (b) puncak transmisi berada pada 472.53, 509.17, 840.91 cm^{-1} , dan pada sampel (a) untuk puncak transmisinya terdapat pada 472.53, 509.17, 840.91 cm^{-1} . Itu artinya untuk sampel (b) dan (a) memiliki fase- β kristalin namun pada sampel (b) masih ada indikasi fase- α itu terlihat pada puncak transmisi di 472.53, 746.4, 840.91 cm^{-1} sedangkan untuk sampel (a) tidak adanya indikasi fase- α , itu dilihat dari puncak transmisi yang ditunjukkan 472.53, 840.91 cm^{-1} .

B. Analisis XRD

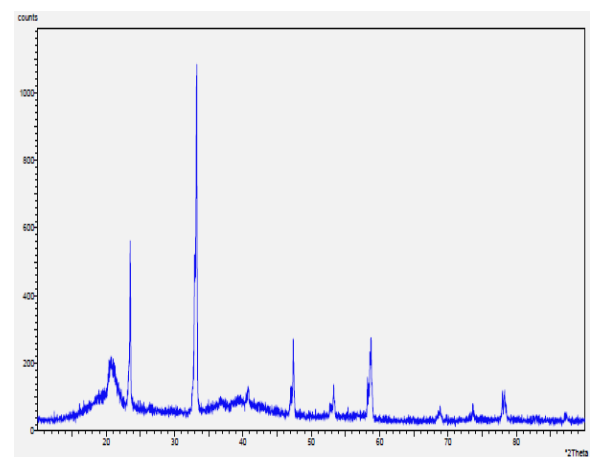
Karakterisasi XRD pada SiO₂ LuSi untuk mengetahui identifikasi fasa. Hasil ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil pola difraksi sinar-X SiO₂ LuSi dengan kalsinasi suhu 800°C selama 17 jam.

Gambar 2. Menunjukkan bahwa setiap puncak dengan intensitas tertentu merupakan fase silika kristalin, dimulai dengan sudut 21.66°. Untuk mengetahui ukuran partikel dari silika tersebut dapat dianalisa dengan menggunakan analisa Rietveld. Dari analisa tersebut diperoleh ukuran partikel silika sebesar

44.27 nm. Hasil karakterisasi PVDF ditunjukkan pada Gambar 3.

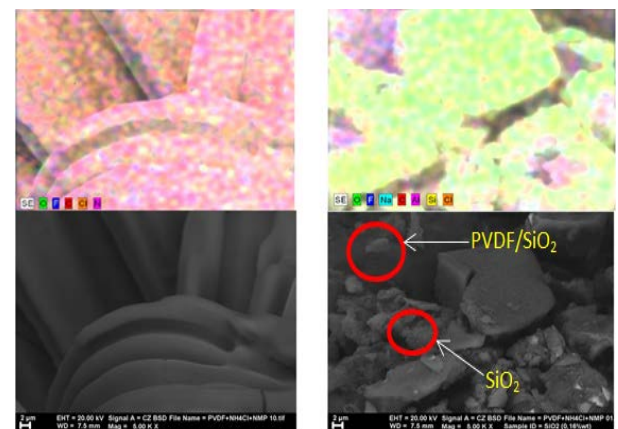


Gambar 3. Pola XRD dari PVDF+NMP+NH₄Cl dengan perlakuan pemanasan 90°C selama 5 jam

Gambar 3. menunjukkan pola difraksi sinar X-Ray dari film PVDF+NMP+NH₄Cl dengan perlakuan pemanasan 90°C selama 5 jam. Pada jurnal Katoch untuk film PVDF yang berfase- β terjadi pada puncak difraksi di $2\theta = 20.2^\circ$ sedangkan untuk fase- α terjadi pada puncak $2\theta = 18.58^\circ$ dan 19.94° . Pada hasil pengujian XRD diatas menunjukkan puncak difraksi pertama terjadi di $2\theta = 20.71^\circ$. itu artinya sampel film PVDF tersebut menunjukkan fase- β sesuai dengan yang terdapat pada jurnal Katoch.

C. Analisis SEM-EDX komposit PVDF/SiO₂

Berdasarkan hasil pengamatan SEM-EDX (Gambar 4) dapat dilihat membran PVDF memiliki struktur seperti serat karena PVDF merupakan polimer, dan juga partikel SiO₂ ukuran dibawah seratus nano dapat teramati walaupun sebagian besar tampak kumpulan partikel-partikel kecil yang menyatu membentuk partikel besar (beraglomerasi), ini dikarenakan waktu *stirrer* yang kurang lama dan pemanasan dengan suhu rendah.



Gambar 4. Morfologi SEM-EDX komposit PVDF/SiO₂

D. Analisis LCR meter dengan frekuensi 1 KHz

Untuk mengetahui sifat dielektrik bahan komposit PVDF/SiO₂ dilakukan pengujian dengan menggunakan LCR meter dengan beberapa variasi frekuensi 50 Hz sampai 1 MHz. Namun alat pada penelitian ini

pengukurannya menggunakan LCR meter dengan frekuensi 1 KHz (Tabel I).

TABEL I
Nilai dielektrik bahan komposit PVDF/SiO₂ dengan variasi persen berat SiO₂

Penambahan Berat SiO ₂	Konstanta Dielektrik (F/m)
PVDF (<i>pure</i>) tanpa silika	214.33
0,16 %	1984.41
0,32 %	421.27
0,4 %	50.93
0,16 % berat Silika komersil	48.47

TABEL I dapat diketahui bahwa pada sampel PVDF/SiO₂ dengan beberapa variasi penambahan % berat SiO₂, untuk nilai konstanta dielektrik tertinggi terdapat 2% berat penambahan silika dan seiring dengan semakin banyak penambahan silika, yang terjadi adalah nilai konstanta dielektrik menurun. Sedangkan untuk sampel dengan penambahan silika komersil didapatkan bahwa nilai konstanta dielektrik yang cukup kecil yaitu 48.47 F/m dibandingkan dengan menggunakan silika LuSi.

KESIMPULAN

Hasil Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai dielektrik komposit PVDF/SiO₂ tertinggi pada penambahan 0,16% berat silika adalah 1984.41 F/m pada frekuensi 1 KHz. Nilai dielektrik ini menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi % berat silika dan untuk komposit PVDF dengan silika komersil (2% berat) nilai dielektriknya jauh lebih kecil dibandingkan menggunakan silika LuSi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akash Katoch (2009), *Jurnal Structural and dielectric investigations of nano dispersed poly (vinylidene fluoride) (PVDF) composites*, School of Physics and Materials science Thapar University, Patiala, Punjab.
- Noor Jayanti, Dwi (2014), *Optimalisasi Parameter pH pada Sintesis Nanosilika dari Pasir Besi Merapi dengan Ekstraksi Magnet Permanen Menggunakan Metode Kopresipitasi*, Universitas Negeri Sunan Kali Jaga, Yogyakarta.
- Esterly D.M (2002), *Manufacturing of poly(vinylidene fluoride) and evaluation of its mechanical properties*, Blacksburg, Virginia
- Hadi, Surahmat (2011), *Sintesis Silika Amorf Berbasis Pasir Alam dan Bancar dengan Metode Kopresipitasi*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Januar, Akmad, dkk (2013), *Pengaruh pH Akhir Larutan pada Sintesis Nanosilika dari Bahan Lusi dengan Metode Kopresipitasi*, Jurnal Inovasi Fisika Indonesia Vol.02 No.03.
- Munasir, dkk (2010), *Perbandingan Massa Kalium Hidroksida pada Ekstraksi SiO₂ Orde Nano Berbasis Bahan Alam Pasir Kuarsa*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan.
- Restuti, Hermasari, dkk (2013), *Pengaruh Komposisi Larutan Cetak Polyvinylidene fluoride (PVDF) dan Non Pelarut Metanol Terhadap Kinerja Membran PVDF Dalam Pemisahan Pewarna Indigo*, UNESA Journal of Chemistry Vol.2 No.3.

D

BIDANG KAJIAN
FISIKA OPTIK

PENGUKURAN KONSENTRASI SUKROSA NIRA TEBU DENGAN MENGGUNAKAN POLARIMETRI OPTIK

Mutmainnah¹ Imam Rofi'i¹ Endhah Purwandari¹

¹⁾ Jurusan Fisika FMIPA-Universitas Jember

Abstrak

Untuk meningkatkan kualitas rendemen tebu yang lebih bagus diperlukan mutu tebu yang mempunyai kadar sukrosa tinggi. Sebagai salah satu faktor penentu mutu rendemen tebu, baik petani maupun pabrik tebu harus mendapatkan informasi mengenai kadar sukrosa rendemen yang akurat. Untuk itu perlu dilakukan penelitian pengukuran kadar sukrosa (gula) nira tebu dengan metode yang presisi yaitu menggunakan polarimetri optik. Pengukuran konsentrasi sukrosa nira tebu telah dilakukan dengan menggunakan polariser. Sebelumnya alat tersebut dikalibrasi dengan pengukuran konsentrasi sukrosa standart sebagai fungsi sudut polariser. Setelah proses kalibrasi beberapa sampel nira tebu diuji untuk diketahui kadar sukrosanya. Gula (sukrosa) termasuk zat optis aktif yang dapat memutar bidang polarisasi dari cahaya. Dari data dianalisis hubungan antara konsentrasi sukrosa nira dengan sudut putar bidang polarisasi (θ), sudut polariser diperoleh dari intensitas maksimumnya pada tiap perubahan konsentrasi. Data standarisasi dibuat pada konsentrasi kecil (2% sampai 10%), diperoleh nilai sudut putar jenis sukrosa standart $58,80^\circ \cdot \text{cc/g.dm}$. Adapun sampel perahan nira berasal dari tebu Ambulu, Kalimantan, Probolinggo, Semboro hasil pengukuran pada rentang konsentrasi nira 2% sampai 10 % diperoleh sudut polariser sekitar $2^\circ - 6^\circ$ dengan besar sudut putar jenis rerata sebesar $56,69^\circ \cdot \text{cc/g.dm}$.

Kata kunci: Nira Tebu, Sukrosa, Polariser, Konsentrasi, Sudut putar jenis

PENDAHULUAN

Gula merupakan salah satu komoditas strategis dalam perekonomian Indonesia. Gula juga merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat dan sumber kalori yang relatif murah, karena merupakan kebutuhan pokok, maka dinamika harga gula mempunyai pengaruh langsung terhadap laju inflasi. Dengan luas areal sekitar 350 ha pada periode 2000-2005, industri gula berbasis tebu merupakan salah satu sumber pendapatan bagi sekitar 900 ribu petani dengan jumlah tenaga kerja yang terlibat mencapai 1,3 juta orang (Apriyantono A, 2005). Pada saat ini dengan jumlah penduduk Indonesia sebesar 230 juta jiwa membutuhkan 4,55 juta ton gula yang terdiri dari 2,7 juta ton untuk konsumsi langsung masyarakat dan 1,85 juta ton untuk keperluan industri (Wibowo R, 2010). Tentunya, tingginya konsumsi gula tebu tersebut tetap harus memperhatikan kualitas dari rendemen tebu penghasil gula.

Salah satu faktor penentu mutu rendemen tebu adalah kadar sukrosa dalam tebu. Dengan demikian pengukuran terhadap kadar sukrosa menjadi syarat dalam sebuah kegiatan produksi gula. Metode umum yang telah dilakukan oleh pabrik gula dalam pengukuran kandungan sukrosa dalam nira tebu adalah pemanfaatan polarimeter dan Brix-meter. Namun demikian, pengukuran secara manual tersebut masih memberikan data terukur dalam rentang yang lebar, sehingga menghasilkan ketidakpastian hasil pengukuran yang cukup tinggi. Untuk itu, sebuah sistem pengukuran kadar sukrosa berbasis aplikasi polariser perlu dilakukan. Aplikasi laser pada sebuah sistem polariser dapat dimanfaatkan untuk mengukur tingkat perubahan kadar gula (sukrosa) yang sangat kecil. Hal ini dapat dipahami mengingat polaritas sebuah larutan sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) berubah terhadap konsentrasi sukrosa.

Hasil penelitian Ferlinda (2011) menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan sebuah *Portable Brix Meter*, sudut putar pada sampel larutan sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) dalam larutan gula cair, madu, gula rendah kalori, dan gula pasir berubah pada konsentrasi 1% sampai 10%. Di dalam paper ini, sebuah desain aplikasi pengukuran kadar gula (sukrosa) dari nira tebu dengan mengembangkan sebuah sistem polariser akan dipaparkan.

Sifat aktif optik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk memutar bidang polarisasi. Dengan menggunakan sistem polariser, kemampuan putar bidang polarisasi bahan diperoleh dengan mengukur sudut polarisasi pada analisisnya. Kemudian dengan memanfaatkan nilai sifat aktif optik ini dapat diperoleh nilai kadar sukrosa. Gula (sukrosa) termasuk zat optis aktif yang dapat memutar bidang polarisasi dari cahaya yang melewatinya. Bahan tersebut tetap optik aktif dalam semua keadaan meskipun dalam larutan. Sifat aktifitas optik ini dapat dipakai untuk mengukur kadar sukrosa dalam tebu. Hal ini disebabkan ternyata sudut bidang polarisasi sebanding dengan kadar sukrosa dalam larutan tersebut. Ketergantungan sudut putar bidang polarisasi terhadap tebal bagian larutan yang dilewati sinar dan terhadap kadar larutan, mengisyaratkan bahwa gejala aktifitas optik ini terjadi pada molekul-molekul dalam larutan (Soedjojo, 1992). Sehingga dengan sistem polariser yang diaplikasikan untuk mengukur kadar sukrosa (gula) nira tebu diperoleh pengukuran berupa hubungan antara sudut putar bidang polarisasi (θ) dengan intensitasnya serta sudut putar bidang polarisasi (θ) tersebut dengan kadar sukrosanya. Selanjutnya, besar perputaran bidang polarisasi (θ) dapat digunakan untuk menentukan kadar sukrosa nira tebu.

Perputaran bidang polarisasi oleh larutan dari unsur aktif dalam bahan pelarut non-aktif adalah sebanding dengan panjang kolom lintasan (d) dan konsentrasi larutan tersebut (c). Pengukuran perputaran dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi atau kadar sukrosa dalam sebuah larutan. Menurut Giancoli (1985), sebuah cahaya terpolarisasi yang melintasi kolom larutan sukrosa akan membuat bidang polarisasinya terputar. Untuk sukrosa, bidang polarisasi akan terputar ke kanan (*dextrorotatory*) sedangkan bahan yang mengandung asam amino dan protein, bidang polarisasi akan terputar ke kiri (*levorotatory*). Besarnya sudut putar bidang polarisasi oleh larutan sukrosa, dinyatakan dengan:

$$\theta = \alpha \cdot d \cdot c \quad (1)$$

dengan: θ = sudut putar bidang polarisasi ($^{\circ}$); α = sudut putar jenis ($^{\circ}\text{cc/gr dm}$); d = panjang kolom larutan (dm); c = konsentrasi larutan (gr/cc).

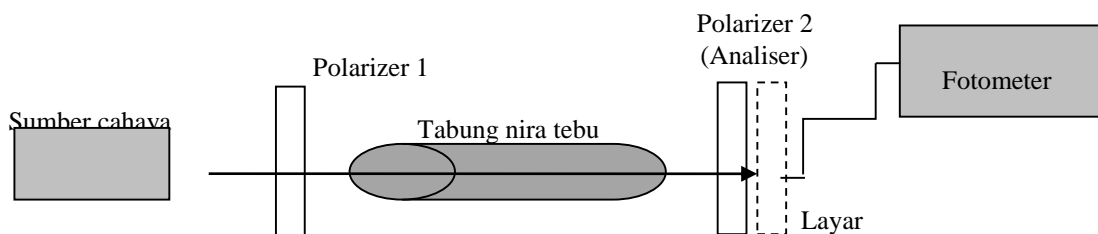
METODE PENELITIAN

Tahap pertama dilakukan penyusunan peralatan pengukuran konsentrasi sukrosa dalam nira tebu (Gambar 1), kemudian dilakukan standarisasi atau kalibrasi metode pengukuran. Untuk melaksanakan proses kalibrasi ini maka dilakukan pengukuran intensitas fotometer sebagai fungsi konsentrasi sukrosa, seperti pada Gambar 1. Sukrosa yang akan digunakan untuk proses kalibrasi diperoleh dari industri yang sudah standart. Hasil kalibrasi yang diperoleh berupa hubungan antara intensitas sebagai fungsi kadar sukrosa standart. Pengukuran pada proses kalibrasi adalah

intensitas sebagai fungsi sudut antara polarizer dan analyzer yang melewati larutan sukrosa. Data yang diambil adalah suatu sudut polariser pada intensitas maksimum pada tiap konsentrasi yang diukur. Hasilnya adalah hubungan antara sudut polariser dengan kadar sukrosa.

Setelah dilakukan kalibrasi langkah selanjutnya adalah penerapan metode pengukuran sistem polarizer untuk menentukan kadar sukrosa nira tebu yang diperoleh dari peteni. Beberapa sampel nira tebu telah diuji untuk diketahui kadar sukrosanya. Sampel larutan sukrosa diperoleh dari hasil perasan batang tebu. Untuk mendapatkan kadar sukrosa nira tebu, sampel diletakkan dalam kolom tabung nira tebu (Gambar 1) yang telah diencerkan (2% sampai 10%) agar intensitas laser terbaca oleh photodetektor. Sumber laser HeNe diletakkan pada bangku laser dengan posisi polariser tepat berada di depan laser, sehingga berkas laser dapat melewati polariser yang memiliki sudut polarisasi 0° vertikal ke atas. Kemudian analiser diletakkan pada holder dan mengarahkan sudut 0° analiser sejajar dengan polariser. Tabung kolom larutan nira tebu diletakkan diantara polariser dan analiser. Intensitas maksimum yang diperoleh dari hasil pengamatan selanjutnya dijadikan sebagai acuan maksimum pengukuran.

Terdapat empat variasi jenis sampel dengan beberapa konsentrasi nira tebu yang akan diamati. Setiap sampel akan terukur intensitasnya dengan memutar analiser sampai terukur intensitas maksimum, sedangkan sudut putar polariser akan dicatat bersesuaian dengan kadar sukrosa dalam nira tersebut.



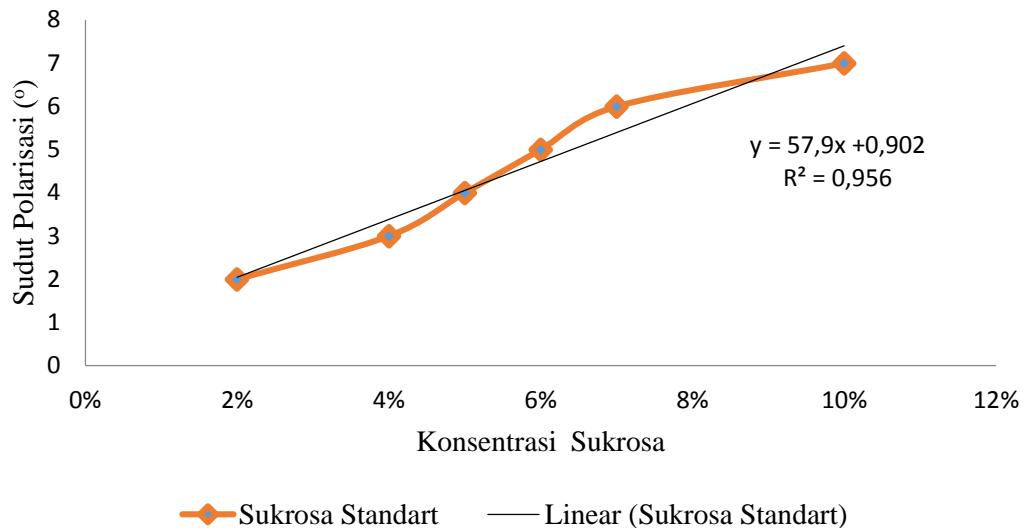
Gambar 1 Skema sistem polariser untuk aplikasi penentuan kadar gula.

Dari data yang diperoleh dianalisis hubungan antara kandungan sukrosa dalam nira dengan sudut polariser, sudut polariser diperoleh dari intensitas maksimumnya pada tiap sampel nira, sehingga diperoleh hubungan antara kadar sukrosa dalam nira (c) dengan sudut putar bidang polarisasi (θ) dengan menggunakan persamaan (1) pada pendahuluan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan penyusunan peralatan pengukuran konsentrasi sukrosa dalam nira tebu seperti Gambar 1, serta telah dilakukan standarisasi atau kalibrasi metode pengukuran pada set alat tersebut. Untuk proses kalibrasi ini dilakukan pengukuran

intensitas fotometer sebagai fungsi konsentrasi sukrosa. Sukrosa yang akan digunakan untuk proses kalibrasi diperoleh dari industri yang sudah standart yaitu dari **PT Sorini Indonesia** adapun rumus secara kimia $C_{12}H_{22}O_{11}$ dengan rincian konsentrasi $C_{12} = 42,1\%$, $H_{22} = 6,48\%$ dan $O_{11} = 51,2\%$ sehingga total $99,99\%$. Hasil kalibrasi yang diperoleh berupa hubungan antara sudut polariser sebagai fungsi kadar sukrosa standart, seperti pada Gambar 2. Dari grafik sukrosa standart diperoleh nilai sudut putar jenis yaitu $(57,9 \pm 0,902) ^{\circ}\text{cc/g.dm}$ hal ini mendekati dengan hasil penelitian Schmidt pada tahun 1980 yaitu bahwa sudut putar jenis dari larutan sukrosa dengan menggunakan sumber laser He Ne adalah $57,214 ^{\circ}\text{cc/g.dm}$

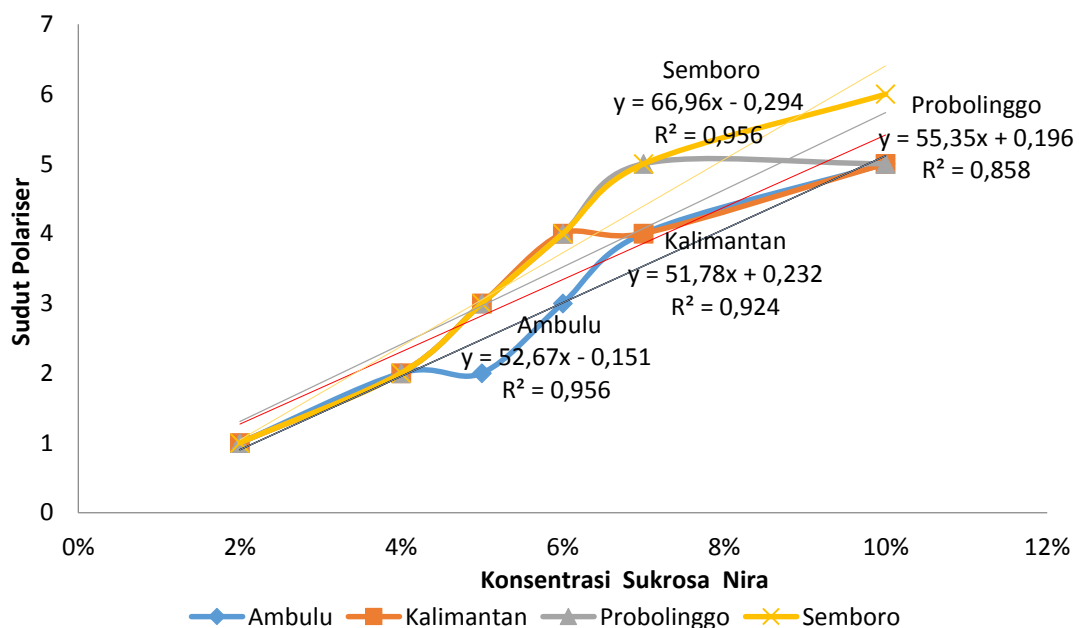


Gambar 2. Grafik hubungan kadar sukrosa standart dengan sudut polarisasi.

Pengambilan data standarisasi dilakukan pada konsentrasi kecil (2% sampai 10%) hal ini karena berhubungan dengan observasi awal intensitas cahaya laser yang melalui perahan nira pertama (sudah disaring) dari petani, dimana terdeteksinya intensitas cahaya setelah melalui larutan tersebut jika konsentrasi berada di bawah 10%.

Setelah dilakukan kalibrasi selanjutnya dilakukan pengukuran sistem polariser untuk menentukan kadar sukrosa nira tebu yang diperoleh dari beberapa daerah yaitu daerah Ambulu, Kalimantan (bibit dari Kalimantan tetapi penanaman dilakukan di Ambulu), Probolinggo, dan Semboro. Beberapa sampel nira tebu diuji untuk diketahui kadar sukrosanya. Sampel

larutan sukrosa diperoleh dari hasil perasan batang tebu yang siap giling (nira tebu). Pada penelitian ini sampel telah didapatkan dari petani pada daerah tersebut, pengukuran dilakukan pada konsentrasi nira 2% sampai 10%. Pengukuran sudut polarisasi pada sampel nira dilakukan pada wadah larutan dengan ketebalan 10 cm dengan panjang gelombang laser HeNe tetap yaitu 632,99 nm. Dari hasil pengukuran intensitas maksimum diperoleh data sudut polarisasi tiap sampel nira. Data sudut polarisasi tiap sampel nira tersebut dibuat grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Konsentrasi sukrosa nira vs sudut polariser pada berbagai jenis asal tebu

Gambar 3 menunjukkan bahwa trend grafik yang dihasilkan dari pengukuran sudut polarisasi pada berbagai variasi konsentrasi nira memberikan bentuk yang sesuai dengan data standart sukrosa (gambar 2). Pada konsentrasi 2% dan 4 %, seluruh jenis sampel memiliki keadaan optik yang sama. Intensitas laser maksimum masing-masing konsentrasi tersebut diperoleh pada sudut polarisasi yang sama, secara berurutan sebesar 1° dan 2° . Perbedaan sudut polarisasi antar jenis tebu mulai tampak saat konsentrasi nira ditingkatkan hingga 10%. Karakteristik optik yang identik ditunjukkan oleh tebu yang berasal dari daerah Kalimantan, Probolinggo dan Semboro hingga konsentrasi 6%. Adapun jenis tebu Kalimantan memiliki karakteristik optik (sudut polarisasi) yang sama pada konsentrasi 2%, 4%, 7% dan 10%. Secara umum, hasil pengukuran menggunakan sistem polariser menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi nira pada sampel menyebabkan sudut putar dari bidang polarisasi larutan sukrosa dalam nira turut berubah. Bersesuaian pula dengan data sukrosa standart, nampak bahwa peningkatan konsentrasi nira menyebabkan kenaikan terhadap sudut polarisasi dari larutan.

Meskipun memiliki trend grafik yang sama, data ukur sudut polarisasi dari nira pada berbagai konsentrasi, untuk semua variasi jenis tebu, sedikit berbeda dengan data sukrosa standart. Adanya perbedaan diduga akibat masih terdapatnya kandungan air dari sampel nira yang diperoleh. Disamping itu, pada saat pengambilan sampel tebu masih berusia muda (8 bulan), sehingga kandungan sukrosa yang dimiliki belum optimum. Nilai kadar sukrosa juga tergantung pada umur tanam dan kondisi musim waktu tanam. Hal ini akan dilanjutkan untuk penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Telah didesain aplikasi pengukuran kadar gula (sukrosa) nira tebu dengan sistem polariser. Kadar sukrosa dalam nira dapat ditentukan dengan mengukur sudut polarisasi yang diperoleh dari tiap intensitas maksimum yang terdeteksi pada photometer. Intensitas sinar laser HeNe terpolarisasi setelah melewati kolom sampel nira dan analiser. Semakin tinggi kadar sukrosa dalam nira membuat sudut pemutaran bidang polarisasi sinar laser HeNe terpolarisasi semakin besar. Kadar sukrosa yang diperoleh pada penelitian ini hampir semuanya mendekati standart sukrosa, terutama data pengukuran pada konsentrasi 2% dan konsentrasi 4%.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyantono A. 2005. *Prospek Dan Arah Pengembangan Agribisnis Tebu*, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. Jakarta
- Ferlinda. F.F, 2011, *Analisis Sudut Putar Jenis Pada Sampel Larutan Sukrosa Menggunakan Portable Brix Meter* Universitas Diponegoro Semarang
- Giancoli, D. 1985. *Physics 2nd edition: Principles and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Schmidt 1980 “ *Technical Basic Polarimetry*”. www.schmidt-haensch.com
- Soedjojo, P. 1992. *Azas Ilmu Fisika jilid 3: Optika*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wibowo R. 2010. *Strategi Pengembangan dan Program Revitalisasi Agroindustri Tebu di Indonesia*. Universitas Jember

KARAKTERISTIK SIFAT *THERMO OPTIC DIRECTIONAL COUPLER* JENIS SILICA SINGLEMODE SMF-28 BERDASARKAN KEMAMPUAN MENGHANTAR DAYA

Sujito, Arif Hidayat, Yuni Priyatin
Jurusan Fisika Universitas Negeri Malang
soejito@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian yang mengkaji tentang karakteristik thermo-optik dari serat optik singlemode jenis silika SMF-28. Kemampuan directional coupler dalam mentransmisikan informasi menjadi kajian penting untuk diteliti. Demikian juga yang berkaitan dengan penurunan kemampuan transmisi. Salah satu penyebab penurunan kemampuan transmisi adalah perubahan temperatur lingkungan. Selain untuk mengkarakteristik, penelitian ini juga bermaksud untuk mengetahui efek peningkatan temperatur pada serat optik singlemode terhadap rugi daya (*loss*). Jenis fiber optic yang digunakan sebagai bahan directional coupler adalah silika singlemode SMF 28. Panas yang dihasilkan dari pemanas digunakan untuk memberikan efek thermo optic pada serat optik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar suhu maka semakin besar pula *loss* totalnya. Hal ini menunjukkan terlihat hubungan linier antara suhu dengan rugi daya total. Pada Suhu 50°C *loss* totalnya -0,59 dB, sedangkan pada kenaikan suhu 50°C nilai *loss* totalnya naik menjadi -0,26 dB. Berdasarkan hasil ini diperoleh besar ralat relatif (R_a) = 0,045% dan ralat relatif (R_b) = 0,34%. Pemberian perlakuan panas kepada serat optik menyebabkan perubahan pada struktur serat optik. Ketika kabel serat optik diberi panas, kabel menyerap panas tersebut sehingga menyebabkan pemuaian. Pemuaian yang terjadi pada kabel menyebabkan kabel mengalami perubahan struktur dan indeks bias. Perubahan struktur dan indeks bias pada serat optik menyebabkan transmisi sinyal tidak sempurna. Perubahan struktur dari serat optik tersebut sangat berpengaruh terhadap besar sinyal keluaran dari serat optik, artinya pengaruh suhu panas terhadap nilai *loss* pada serat optik SMF-28 silika adalah semakin tinggi suhu, semakin besar pula nilai *loss* yang terukur.

Kata Kunci: directional coupler, serat optik, thermo optic, *loss*

PENDAHULUAN

Serat optik merupakan salah satu media transmisi untuk menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dengan keandalan yang tinggi. Sistem komunikasi serat optik memiliki kekurangan yang dapat menghambat pengiriman informasi. Terhambatnya pengiriman informasi ini biasanya disebabkan oleh rugi-rugi daya (*loss*) pada serat optik. Salah satu sebab terjadinya rugi daya pada serat optik adalah adanya pengaruh panas terhadap kabel serat optik.

Berdasarkan penelitian Tegar Bestariyan pada tahun 2011 memotivasi penulis untuk mengembangkan penelitian sejenis dengan menggunakan tipe serat optik yang berbeda dan perlakuan yang berbeda pula. Penulis melakukan pengamatan terhadap rugi-rugi daya pada kabel serat optik apabila di berikan perlakuan tertentu terutama perlakuan radiasi panas/kalor dengan memvariasi waktu. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya berdasar pada pengaruh suhu panas terhadap rugi daya serat optik jenis plastik tipe (FD 620-10) maka pada penelitian ini ditekankan pada tipe serat optik yang berbeda yakni serat optik jenis silika dengan tipe SMF 28 terhadap variasi lama waktu.

Perlakuan pada serat optik pada penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, mengingat pada penelitian sebelumnya jenis serat optik plastik rentan rusak hanya pada suhu 80°C-85°C, maka pada penelitian ini menggunakan metode kontrol lama waktu dan pemberian suhu di atas 85°C dengan peralatan yang lebih valid terhadap serat optik jenis silika. Di harapkan setelah di ketahui rentang suhu panas yang di berikan pada serat optik silika, dapat menunjukkan perbedaan

yang signifikan pada jenis serat optik yang sebelumnya. Pada penelitian ini penulis mengamati pengaruh pemberian panas/kalor terhadap serat optik jenis silika. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terjadinya rugi daya akibat pemanasan pada kabel serat optik. Pengurangan daya yang terjadi akan mengakibatkan komunikasi pada serat optik akan terhambat.

KAJIAN PUSTAKA SERAT OPTIK

Serat optik adalah suatu pemandu gelombang cahaya (*light wave guide*) yang berupa kabel tembus pandang (*transparan*), yang mana penampang dari kabel tersebut terdiri dari 3 bagian, yaitu: bagian tengah yang disebut *Core*, bagian pelindung disebut *Cladding* dan bagian luar disebut *Coating*. Bahan serat optik dibuat dari bahan *silica* murni, baik sebagai *core* maupun *cladding*. Dalam penggunaannya beberapa serat optik dijadikan satu dalam sebuah tempat yang dinamakan kabel serat optik dan digunakan untuk mengantarkan data digital yang berupa sinar dalam jarak yang sangat jauh. Di dalam serat inilah energi cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima di ujung unit penerima (Catur E, 2002).

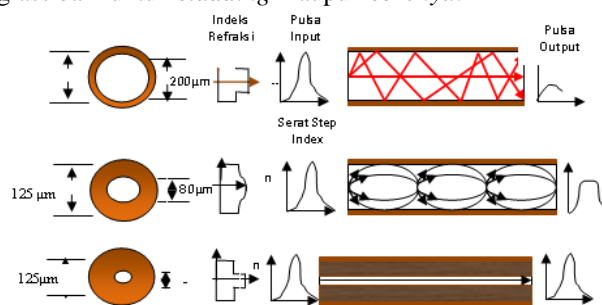
Perambatan Sinar dalam kabel serat optik sebagai media transmisi pada suatu sistem komunikasi didasarkan pada hukum *Snellius* untuk perambatan cahaya pada media transparan seperti pada kaca yang terbuat dari *kuartz* kualitas tinggi dan dibentuk dari dua lapisan utama yaitu lapisan inti yang biasanya disebut *core* terletak pada lapisan yang paling dalam dengan

indeks bias n_1 dan dilapisi oleh *cladding* dengan indeks bias n_2 yang lebih kecil dari n_1 .

Dewasa ini ada 3 jenis serat optik yang populer pemanfaatannya pada sistem komunikasi serat optik yaitu:

1. Serat optik *Multimode Step Index*, serat optik ini pada dasarnya mempunyai diameter *core* yang besar ($50 - 400 \mu\text{m}$) dibandingkan dengan diameter *cladding* ($125 - 500 \mu\text{m}$).
2. Serat optik *Multimode Graded Index*, serat optik ini dibuat dengan menggunakan bahan multi *component glass* atau dapat juga dengan *silica glass* baik untuk *core* maupun *cladding*nya.
3. Serat optik *Singlemode Index*

Serat singlemode, terlihat pada gambar bahwa index bias akan berubah dengan segera pada batas antara *core* dan *cladding* (*step index*). Bahannya terbuat dari *silica glass* baik untuk *cladding* maupun *core*nya.



Gambar 1. Serat Optik Step Index Multimode, Graded Index Multimode, Singlemode.

THERMO-OPTIK

Efek Thermo-optik adalah modulasi yang berkenaan dengan panas indeks refraksi suatu material. Indeks-Refraksi suatu material dapat diatur sebagai fungsi koefisien thermo-optiknya (Gokul, 2006). Efek *thermo-optic* yang murni dari temperatur bergantung pada indeks bias secara penuh digunakan untuk mengontrol berkas cahaya dan gelombang optik disamping efek elektro-optik (Rubianto, 2003).

SENSOR DIRECTIONAL COUPLER

Serat optik dapat digunakan untuk penginderaan apapun seperti halnya untuk mengukur suhu, regangan, tekanan dan jumlah lain dengan memodifikasi serat optik sehingga kuantitas yang akan diukur memodulasi intensitas, fase, polarisasi, panjang gelombang atau waktu transit cahaya dalam serat (Dekker, 2002:3). Sensor bervariasi intensitas cahaya mulai yang paling sederhana, karena hanya sumber yang sederhana dan detektor diperlukan. Sensor serat optik ini dalam mekanisme penginderaannya terhadap gangguan luar maupun dalam menggunakan prinsip pandu gelombang pada serat optik.

Saat ini, sensor optik dapat diklasifikasikan tergantung pada bahan serat yang berbeda atau struktur serat, seperti sensor tradisional, SMF, serat *birefringence*, yang lantanum doped fiber dan serat sub-panjang gelombang dan mikro serat optik (Yonghao Xu, 2007).

Salah satu keunikan sensor berbasis serat optik adalah kemampuan penginderaan yang terdistribusi, dalam artian bahwa beberapa titik daerah sensor dapat

diindera secara bersamaan oleh serat optik singlemode, kemampuan ini tidak hanya dapat mengurangi biaya, namun juga membuat sensor menjadi sangat baik (J. Thompson, 2000). Keuntungan dari sensor serat optik meliputi gangguan elektromagnetik, sensitivitas tinggi, ringan, ukuran kecil, lingkungan kekasaran, kapasitas multiplexing, distribusi (Dapeng Zhou, 2010:7).

METODOLOGI PENELITIAN

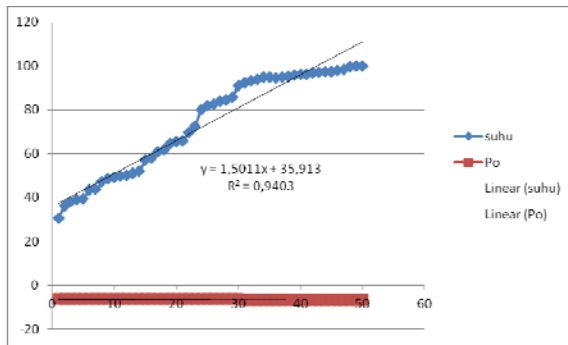
Penelitian ini bersifat eksperimental, jenis serat optik yang digunakan adalah jenis *singlemode*. Cahaya dari *Optical Laser Source* dengan pembangkitan panjang gelombang (λ) = 1310 nm dilewatkan serat optik yang dipanaskan. Sinyal keluaran dari *Optical Power Meter* ditampilkan dalam bentuk nilai daya keluaran (Po).

Dalam mencari data langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengesetan Instrumen, pada pengesetan instrument ini peneliti merangkai alat-alat seperti *Optical Laser Source (Loss Test)* sebagai inputnya dengan *Optical Power Meter* sebagai outputnya. Setelah kedua set tersebut terpasang barulah memasang *directional coupler* (yang digunakan serat optik jenis *singlemode* SMF-28) melewati konektor serat optik. Adapun termometer digital di letakkan mendekati pemanas dan serat optik.
2. Pengkalibrasian Instrumen, setelah semua alat-alat terpasang, langkah selanjutnya adalah mengkalibrasi instrumen dengan cara menghidupkan *Set Optical Laser Source* dan *Optical Power Meter* dengan pembangkitan panjang gelombang 1.310 nm. Setelah itu meletakkan serat optik SMF-28 pada pemanas sekaligus menempelkan termometer digital dalam pemanas setelah dihidupkan.
3. Pengambilan Data, dalam penelitian ini data yang akan dicari adalah nilai keluaran yang berbentuk daya keluaran (dBm) dari *Set Optical Power Meter* dan waktu (menit) yang di perlukan dalam kenaikan suhu ($^{\circ}\text{C}$) pada pemanas yang dilewati serat optik SMF- 28. Nilai suhu dan waktu yang diambil adalah ketika perubahan daya keluaran terlihat signifikan. Waktu dan tempat pengambilan data penelitian ini dilakukan pada bulan Maret sampai bulan April 2013.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini diperoleh data daya keluaran (dBm), kenaikan suhu panas ($^{\circ}\text{C}$) dan besar waktu (menit) yang dibutuhkan pada perubahan rugi daya. Data nilai keluaran daya keluaran/ P_o dari nilai masukan panjang gelombang 1.310 nm dan analisisnya disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Waktu (menit) , Suhu ($^{\circ}\text{C}$), dan Daya Keluaran (dBm)

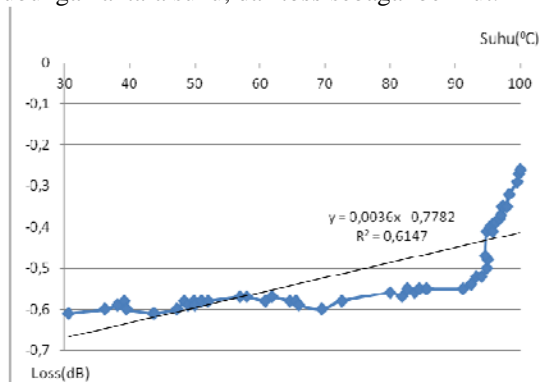
Setelah ditarik grafik maka data selanjutnya dihitung *loss total* dengan menggunakan rumus rugi daya (*loss/atenuasi*).

$$A = 10 \log \left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right)$$

Oleh karena pada awal pengambilan data diketahui nilai daya masukan dan nilai daya keluaran muncul dalam satuan dBm, maka sebelum data dihitung *loss total*nya, satuan daya harus dikonversi terlebih dahulu dalam satuan (Watt) menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$P (\text{dbm}) = 10 \log \left(\frac{P (\text{Watt})}{1 \text{ mW}} \right)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menghitung besarnya *loss total* (dB) akibat variasi suhu yang diberikan pada fiber optik. Hasilnya dapat ditarik grafik hubungan antara suhu, dan *loss* sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Suhu ($^{\circ}\text{C}$) dengan Loss(dB)

Langkah awal dari proses penganalisan data adalah menghitung ralat dari masing-masing data yang telah diperoleh. Ralat yang digunakan adalah kuadrat terkecil, dimana nilai ralatnya $R_a = 0,045\%$ dan $R_b = 0,34\%$. Kemudian setelah nilai ralat diketahui, data nilai keluaran di konversi dari satuan dBm menjadi watt seperti perumusan diatas. Grafik pada Gambar 3, menunjukkan hubungan yang linier antara suhu dengan rugi daya total (*loss total*) yang dianalisis menggunakan formula atenuasi. Dalam grafik terlihat gradien/kemiringan garis menggambarkan nilai *loss* setiap 1°C sebesar $0,003 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ atau nilai koefisien *loss* sebesar $0,003 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan semakin besar suhu maka semakin besar pula *loss total*nya.

Pada hasil penelitian juga terlihat jelas pengaruh pemanasan serat optik singlemode jenis silika SMF-28 terhadap rugi dayanya. Dari sajian analisis grafik menggambarkan hubungan linier antara suhu dengan rugi daya total (*loss total*) yang dianalisis menggunakan formula atenuasi. Dalam grafik terlihat gradien/kemiringan garis menggambarkan nilai *loss* setiap 1°C sebesar $0,003 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ atau nilai koefisien *loss* sebesar $0,003 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan semakin besar suhu maka semakin besar pula *loss total*nya. Demikian terjadi karena suhu mempengaruhi perubahan bentuk partikel, dimana bentuk partikel dari *silica* semakin besar sehingga indeks bias pada serat optik silika mengalami perubahan.

Adanya perubahan suhu yang semakin panas, mengakibatkan indeks bias pada fiber optik semakin kecil. Dengan indeks bias semakin kecil pada core, maka perambatan sinar semakin besar yang keluar dari core, sehingga *loss* yang terjadi semakin tinggi. Perbedaan indeks bias yang semakin kecil membuat pemantulan inter total terjadi secara tidak sempurna. Hal ini disebabkan kalor yang diberikan pada suatu bahan akan berpengaruh pada daya hantar bahan itu sendiri, ketika bahan dipanasi akan mengalami proses pemuaian bahan, sehingga daya hantarnya juga akan berkurang (Widiprianto Bakti). Pengaruh pemanasan inilah yang menyebabkan penyusutan (rugi) daya yang dikirimkan, akibatnya sinyal masukan kurang maksimal. Pengurangan daya yang terjadi akan mengakibatkan komunikasi pada serat optik akan terhambat. Pemberian perlakuan panas kepada serat optik menyebabkan perubahan pada struktur serat optik. Ketika kabel serat optik diberi panas, kabel menyerap panas tersebut sehingga menyebabkan pemuaian. Pemuaian yang terjadi pada kabel menyebabkan kabel mengalami perubahan struktur dan indeks bias. Perubahan struktur diindeks bias pada serat optik menyebabkan transmisi sinyal tidak sempurna.

Adapun penyebab lain nilai *loss* berkurang adalah karena pada serat optik yang terbuat dari silika dengan suhu normal memiliki suatu susunan yang tidak teratur atau disebut juga ketakteraturan submikroskopik (misalnya rongga-rongga) yang secara permanen terbentuk didalam serat optik. Ketakteraturan ini terjadi pada proses fabrikasi serat optik yang dimana pada bentuk plastis (antara cair dan padat) dilakukan tegangan atau tarikan agar didapatkan bentuk seperti kabel. Ketika berkas-berkas cahaya melewati serat optik dan mengenai ketakteraturan tersebut, maka cahaya yang melewati tersebut akan terdifraksikan. Proses difraksi mengakibatkan cahaya menyebar kesegala arah, beberapa cahaya terdifraksi terus merambat dan sebagian lagi lolos ke *cladding* (Hidayat, 2011).

Berdasarkan perbedaan nilai *loss* terhadap suhu, dapat dibuat suatu sensor temperatur dengan menghubungkan nilai *loss* dengan pengaruh suhu dingin terhadap serat optik. Apabila suatu nilai *loss* besar dari titik acuan, dalam hal ini titik acuan diambil pada suhu panas, maka telah terjadi kenaikan suhu pada lingkungan. Aplikasi sistem sensor ini sesuai apabila dipergunakan pada mesin pemanas masa mendatang.

PENUTUP

Kabel serat optik silika jenis *singlemode* tipe SMF-28 yang digunakan mengalami perubahan ketika diberi perlakuan pemanasan. Hal ini terlihat dari *loss* yang dihasilkan pada saat kabel serat optik mengalami kenaikan ketika diberi perlakuan panas, artinya pengaruh suhu panas terhadap nilai *loss* pada serat optik SMF-28. Semakin tinggi suhu, semakin besar pula nilai *loss* yang terukur. Untuk peneliti selanjutnya disarankan agar lebih mengutamakan pemberian perlakuan pemanasan bisa ditingkatkan (menggunakan suhu lebih tinggi).

DAFTAR RUJUKAN

- Bestariyan, Tegar. 2011. Rancang Bangun Sensor Suhu Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode menggunakan Optical Time Domain Reflectometer. Jurnal Rekayasa Fotonika. (Online) <http://digilib.its.ac.id/TTS-Undergraduate-3100011044244/16099> . Diakses tanggal 30 Desember 2011.
- Zhou, Dapeng. 2010. Optical Fiber Sensors for Temperature and Strain Measurement. A thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Physics, (Online). http://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/10012/5655/1/Zhou_Dapeng.pdf. Diakses tanggal 12 Mei 2012
- Thompson, Brian. 2002 . Fiber Optic Sensors. Pennsylvania : The Pennsylvania State University Press: Pennsylvania.
- Binarti, Candra. 2011. Aplikasi Multimode Fiber Coupler Sebagai Sistem Sensor Suhu Dengan Menggunakan Probe Baja. Jurnal Sains dan Teknologi (Online) <http://simalum.unair.ac.id/detail.php?param=NDIwMzg7MDg=>. Diakses tanggal 12 Januari 2012.
- Gosciniak, Jacek. 2009. Thermo-Optic Control Of Dielectric-Loaded Plasmonic Waveguide Components. Journal of Physics, Vol 18, No.2, 31 Desember 2009 Hal 5-11.
- Wilson, Jhon. 2004 . Sensor Technology Handbook. 2nd Edition. Newnes is an imprint of Elsevier : USA
- Kasap, S., O. 2001. Optoelectronics and Photonic. New Jersey : Prentice-Hall.
- Gokul.14 Juni 2006.Summary of Citing Internet Sites. Physics Forum Discussion List, (Online), (<http://www.physicsforums.com/showthread.php?t=123784>), diakses 14 Mei 2012
- Kuswanto, Heru. 2009 . Bahan, Karakter, dan Fabrikasi Fiber Optik: Pengantar. Yogyakarta, e-book (online) <http://staff.uny.ac.id>, diaakses 26 Maret 2012.
- Catur, E.W., Kusworo, Adi.2002.Perancangan dan Realisasi Transceiver-Receiver Dengan Medium Serat Optik Untuk Transmisi Data. Berakala Fisika. Vol. 5, No. 1, Januari 2002 Hal 1-4.
- Fauzi, Nurman. Tanpa tahun. Rugi-rugi pada Serat Optik.(Online) **Error! Hyperlink reference not valid..** Diakses tanggal 02 November 2011.
- Hamid Abdulah, Budianto Anwar, Karyono. 1999.Serat Optik Sebagai Transduser Arus Listrik. Jurnal Fisika Indonesia,(No 9, Voll.III.Edisi Maret 1999) Hal 23-35.

E

BIDANG KAJIAN
PENDIDIKAN
FISIKA

PENGEMBANGAN MODUL KONTEKSTUAL FISIKA KURIKULUM GARUDA 2013 UNTUK SMA PADA POKOK BAHASAN RADIASI ELEKTROMAGNETIK

Kiar Vansa Febrianti¹

¹Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta
Email : kiavansa@rocketmail.com

Abstrak

Pada proses pembelajaran fisika diperlukan pendekatan yang mampu membantu peserta didik untuk memahami konsep fisika yang diajarkan. Menurut Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, pembelajaran fisika sebagai salah satu ilmu sains harus berpusat pada peserta didik (student centered active learning). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan modul pembelajaran fisika berbasis kontekstual pada pokok bahasan radiasi elektromagnetik yang sesuai dengan tuntutan kebutuhan Kurikulum Garuda 2013 dan upaya mempersiapkan bahan ajar Kurikulum Garuda 2013 untuk kelas XII MIA peminatan fisika. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pemahaman dalam pembelajaran di kelas dan dapat menjadi sumber belajar mandiri untuk peserta didik.

Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development dengan mengacu pada model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). Modul yang dikembangkan berupa modul cetak berbasis kontekstual dengan konten materi berdasarkan kompetensi dasar SMA kelas XII dan disusun berdasarkan kriteria serta susunan modul. Modul terdiri dari materi, gambar, contoh soal, latihan soal, dan tes formatif, serta evaluasi akhir modul. Selain itu, setiap kegiatan belajar memiliki batas kriteria ketuntasan untuk melanjutkan kegiatan belajar selanjutnya.

Modul diuji oleh ahli materi dan ahli media berdasarkan indikator dan kemudian hasilnya diolah menggunakan skala likert dengan rentang skor 1–4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul pembelajaran yang dikembangkan masuk dalam kategori sangat baik dengan beberapa aspek penilaian dari ahli materi sebesar 91,60%; ahli media sebesar 86,49%; dan peserta didik sebesar 83,25%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa modul yang dikembangkan layak dijadikan sebagai bahan ajar Fisika untuk SMA kelas XII pada pokok bahasan radiasi elektromagnetik secara mandiri dan kontekstual.

Kata kunci: Pengembangan, Modul Cetak, Kontekstual, Radiasi Elektromagnetik.

PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional, kurikulum adalah seperangkat rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, dan bahan pelajaran serta cara yang digunakan sebagai pedoman penyelenggaraan kegiatan pembelajaran untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu. Kurikulum Garuda 2013 sudah diterapkan dalam pembelajaran di sekolah sejak 15 Juli 2013, sehingga pada kelas XII IPA segala model pembelajaran dan bahan ajar yang digunakan masih menerapkan kurikulum sebelumnya, yaitu KTSP 2006.

Salah satu mata pelajaran sains yang dipelajari di tingkat SMA adalah peminatan fisika. Mata pelajaran fisika diadakan dalam rangka mengembangkan kemampuan berpikir kritis dalam menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan peristiwa sekitar, baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif, serta dapat mengembangkan keterampilan dan sikap percaya diri (Depdiknas, 2006: 10-12).

Idealnya pembelajaran fisika disampaikan dengan mengaitkan pelajaran dengan kehidupan sehari-hari atau kerap kali dikenal dengan istilah kontekstual. Mengingat fisika adalah ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan cara mencari tahu tentang alam secara sistematis, sehingga dengan mempelajari fisika diharapkan peserta didik dapat menerapkannya untuk menyelesaikan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari dan mengungkapkan fenomena-fenomena yang kerap terjadi pada sekelilingnya. Pelaksanaan pembelajaran di sekolah memerlukan bahan ajar. Hal itulah yang selanjutnya mempengaruhi pendidik dalam

memilih bahan ajar yang sesuai. Bahan ajar pada umumnya berisi seperangkat materi yang disusun secara sistematis sehingga tercipta suasana yang memungkinkan peserta didik untuk belajar secara aktif dan mandiri.

Menurut Andi (2011, 17) bahan ajar adalah segala bahan yang disusun secara sistematis dan utuh dari kompetensi yang akan dikuasai peserta didik dan digunakan dalam pembelajaran. Melalui bahan ajar pendidik akan lebih mudah dalam mengarahkan semua aktivitas peserta didik dalam proses pembelajaran.

Dalam proses pembelajaran Kurikulum Garuda 2013 pendidik sepatutnya dan selayaknya dapat membuat bahan ajar sendiri sebagai alat bantu atau media. Salah satu bahan ajar yang dapat dibuat oleh pendidik adalah modul. I Wayan Santyasa, pendidik besar Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Ganesha menyatakan dalam makalahnya yang berjudul Metode Penelitian Pengembangan dan Teori Pengembangan Modul tahun 2009, bahwa modul merupakan suatu cara pengorganisasian materi pelajaran yang memperhatikan fungsi pendidikan. Penerapan modul secara efektif dapat mengubah miskonsepsi peserta didik menuju konsep ilmiah, sehingga pada gilirannya hasil belajar mereka dapat ditingkatkan seoptimal mungkin baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya.

Ide pengembangan modul ini dilakukan atas dasar rasa pemenuhan dan tuntutan kurikulum yang sedang dipakai saat ini. Selain itu, tujuannya untuk mempersiapkan bahan ajar untuk kelas XII MIA yang nantinya akan membutuhkan bahan ajar meskipun kelas

XII sekarang ini adalah angkatan terakhir yang menerapkan KTSP. Sebagai bentuk tindakan awal dan persiapan bahan ajar, modul yang dibuat akan mengalami perkembangan sesuai kebutuhan dan kemajuan IPTEK.

Oleh karena itu, dari uraian kondisi dan permasalahan di atas, peneliti akan mengembangkan modul kontekstual fisika Kurikulum Garuda 2013 sebagai bahan ajar. Modul kontekstual fisika tersebut berisi materi radiasi elektromagnetik yang dilengkapi ilustrasi kehidupan sehari-hari, gambar-gambar yang sesuai terkait Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar yang harus dipenuhi, contoh soal, tes formatif, dan umpan balik sehingga dapat digunakan sebagai bahan ajar fisika Kurikulum Garuda 2013.

RUMUSAN MASALAH

Apakah modul kontekstual fisika bahasan radiasi elektromagnetik untuk SMA kelas XII memenuhi persyaratan dan layak digunakan sebagai bahan ajar fisika Kurikulum Garuda 2013?

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan bahan ajar yang ada untuk menghasilkan modul fisika kontekstual untuk SMA kelas XII MIA Kurikulum Garuda 2013 pada pokok bahasan radiasi elektromagnetik.

TINJAUAN PUSTAKA

HAKIKAT MODUL

Modul adalah salah satu bentuk bahan ajar yang dirancang untuk belajar secara mandiri oleh peserta pembelajaran. Modul harus dilengkapi dengan petunjuk untuk belajar sendiri, sehingga peserta didik dapat melakukan kegiatan belajar sendiri tanpa kehadiran pengajar secara langsung.

Modul merupakan salah satu bentuk bahan ajar yang dikemas secara utuh dan sistematis, di dalamnya memuat seperangkat pengalaman belajar yang terencana dan didesain untuk membantu peserta didik menguasai tujuan belajar yang spesifik. Modul minimal memuat tujuan pembelajaran, materi/substansi belajar, dan evaluasi (Kemdiknas, 2008:4).

Modul pembelajaran adalah bahan ajar yang disusun secara sistematis dan menarik yang mencakup isi materi, metode, dan evaluasi yang dapat digunakan secara mandiri untuk mencapai kompetensi yang diharapkan (Anwar, 2010). Vembriarto (1985: 20, dalam Andi, 2011: 105) menyatakan bahwa "Suatu modul pembelajaran adalah suatu paket pengajaran yang memuat satu unit konsep daripada bahan pelajaran. Pengajaran modul merupakan usaha penyelenggaraan pengajaran individual yang memungkinkan peserta didik menguasai satu unit bahan pelajaran sebelum dia beralih kepada unit berikutnya".

Modul yang dikembangkan harus mampu meningkatkan motivasi peserta didik dan efektif dalam mencapai kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya. Untuk menghasilkan modul yang baik, maka penyusunannya harus sesuai dengan

kriteria yang ditetapkan oleh Kemdiknas (2008, dalam Asyhar, 2011: 155-156) sebagai berikut:

- 1) *Self Instructional*; yaitu mampu membelajarkan peserta didik secara mandiri. Melalui modul tersebut, seseorang atau peserta belajar mampu membelajarkan diri sendiri, tanpa tergantung pada pihak lain.
- 2) *Self Contained*; yaitu seluruh materi pembelajaran dari satu unit kompetensi atau sub kompetensi yang dipelajari terdapat di dalam satu modul secara utuh. Tujuan dari konsep ini adalah memberikan kesempatan pembelajar mempelajari materi pembelajaran yang tuntas, karena materi dikemas ke dalam satu kesatuan yang utuh. Jika harus dilakukan dengan pembagian atau pemisahan materi dari satu unit kompetensi harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan keluasan kompetensi yang harus dikuasai.
- 3) *Stand Alone* (berdiri sendiri); yaitu modul yang dikembangkan tidak tergantung pada media lain atau tidak harus digunakan bersama-sama dengan media pembelajaran lain. Dengan menggunakan modul, pembelajar tidak tergantung dan harus menggunakan media yang lain untuk mempelajari dan atau mengerjakan tugas pada modul tersebut. Jika masih menggunakan dan bergantung pada media lain selain modul yang digunakan, maka media tersebut tidak dikategorikan sebagai media yang berdiri sendiri.
- 4) *Adaptif*; modul hendaknya memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi. Dikatakan adaptif jika modul dapat menyesuaikan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta fleksibel digunakan. Dengan memperhatikan kecepatan perkembangan ilmu dan teknologi, pengembangan modul multimedia hendaknya tetap "*up to date*". Modul yang adaptif adalah jika isi materi pembelajaran dapat digunakan sampai kurun waktu tertentu.
- 5) *User Friendly*; modul hendaknya bersahabat dengan pemakainya. Setiap instruksi dan paparan informasi yang tampil bersifat membantu dan bersahabat dengan pemakainya, termasuk kemudahan pemakai dalam merespon, mengakses sesuai dengan keinginan. Penggunaan bahasa yang sederhana, mudah dimengerti serta menggunakan istilah yang umum digunakan merupakan salah satu bentuk *user friendly*. Begitu pula penampilan gambar dan format penyajiannya disesuaikan dengan selera peserta didik.

Kelima karakteristik modul di atas menjadi acuan bagi penyusun modul dan bagi tim validasi dalam menetapkan dan menilai apakah modul tersebut baik atau tidak.

Berdasarkan pengertian modul beberapa ahli di atas maka dapat disintesis bahwa modul pembelajaran adalah salah satu bentuk bahan ajar yang dikemas secara sistematis dan menarik sehingga mudah untuk digunakan dan dipelajari oleh peserta didik secara mandiri tanpa tergantung pada pendidik. Modul berbeda dengan buku teks (*text book*) karena penyusunan modul lebih berorientasi pada peserta didik (*learner oriented*) yang mengikuti model pembelajaran,

sementara buku teks untuk pembaca umum dan penyusunannya lebih berorientasi pada isi (*content oriented*). Karena tujuannya yang khusus ini, modul harus ditulis dengan bahasa yang sederhana, menarik, dan diatur sedemikian rupa sehingga seolah-olah modul tersebut merupakan “bahasa pengajar” yang sedang memberikan pengajaran kepada murid-muridnya.

PEMBELAJARAN KONTEKSTUAL

Contextual Teaching and Learning atau model pembelajaran kontekstual adalah konsep belajar yang membantu pendidik mengaitkan antara materi yang diajarkan dengan situasi dunia nyata dan mendorong peserta didik membuat hubungan antara pengetahuan yang dimilikinya dengan perencanaan dalam kehidupan mereka sehari-hari (Depdiknas, 2003).

Pembelajaran kontekstual merupakan pembelajaran yang mengaitkan materi pembelajaran dengan konteks dunia nyata yang dihadapi peserta didik sehari-hari baik dalam lingkungan keluarga, masyarakat, alam sekitar, dan dunia kerja, sehingga peserta didik mampu membuat hubungan antara pengetahuan yang dimilikinya dengan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari (Jumadi, 2003: 1).

Menurut Johnson (dalam Sri Rachmajanti, 2008: 34), pendekatan kontekstual adalah suatu strategi pembelajaran yang memberi kesempatan kepada peserta didik untuk secara aktif membelajarkan diri sendiri dengan pengalaman nyata dan bukan menghafal, selalu berpikir kritis dan kreatif, serta selalu menguji pengetahuan baru pada situasi baru.

Dari beberapa pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa pembelajaran kontekstual adalah pembelajaran dengan mengaitkan antara materi yang diajarkan dengan konteks dunia nyata yang dihadapi para peserta didik dalam kehidupan sehari-hari, sehingga peserta didik dapat menerapkan dan mengaitkannya antara pengetahuan yang dimilikinya dengan kehidupan nyata.

Sementara itu, menurut dokumen pada *Center for Occupational Research and Development* (CORD) (Cecep, 2002: 20) menyampaikan lima strategi bagi pendidik dalam rangka penerapan pembelajaran kontekstual, yaitu:

- Relating*, yaitu belajar dikaitkan dengan konteks pengalaman kehidupan nyata.
- Experiencing*, yaitu belajar ditekankan kepada penggalan (*exploration*), penemuan (*discovery*), dan penciptaan (*invention*).
- Applying*, yaitu pengetahuan dipresentasikan di dalam konteks pemanfaatannya.
- Cooperating*, yaitu belajar melalui konteks komunikasi interpersonal, pemakaian bersama.
- Transferring*, yaitu belajar memanfaatkan pengetahuan dalam situasi atau konteks baru.

Perbedaan pembelajaran CTL dengan pembelajaran konvensional dilihat dari konteks tertentu sebagai berikut (Wina Sanjaya, 2006: 258):

Pembelajaran CTL	Pembelajaran Konvensional
Menempatkan peserta didik sebagai subjek belajar, artinya peserta didik berperan aktif dalam setiap proses pembelajaran dengan cara menemukan dan menggali sendiri materi pelajaran.	Peserta didik ditempatkan sebagai objek belajar yang berperan sebagai penerima informasi secara pasif.
Peserta didik belajar melalui kegiatan kelompok.	Peserta didik lebih banyak belajar secara individual dengan menerima, mencatat dan menghafal materi pelajaran.
Pembelajaran dikaitkan dengan kehidupan nyata secara riil.	Pembelajaran bersifat teoritik dan abstrak.
Kemampuan didasarkan atas pengalaman.	Kemampuan diperoleh melalui latihan-latihan.
Tujuan akhir adalah kepuasan diri.	Tujuan akhir adalah nilai atau angka.
Tindakan atau perilaku dibangun atas kesadaran diri sendiri.	Tindakan atau perilaku individu didasarkan oleh faktor dari luar dirinya.
Pengetahuan yang dimiliki setiap individu selalu berkembang sesuai dengan pengalaman yang dialaminya.	Pengetahuan dikonstruksi oleh orang lain.
Peserta didik bertanggung jawab dalam monitor dan mengembangkan pembelajaran mereka masing-masing.	Pendidik adalah penentu jalannya proses pembelajaran.
Keberhasilan pembelajaran diukur dengan berbagai cara, misalnya dengan evaluasi proses, hasil karya peserta didik, penampilan, dan lain-lain.	Keberhasilan pembelajaran biasanya hanya diukur dari tes.

KURIKULUM GARUDA 2013

Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional menyebutkan bahwa kurikulum adalah seperangkat rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, dan bahan pelajaran serta cara yang digunakan sebagai pedoman penyelenggaraan kegiatan pembelajaran untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu. Berdasarkan pengertian tersebut, ada dua dimensi kurikulum. Yang pertama adalah rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, dan bahan pelajaran, sedangkan yang kedua adalah cara yang digunakan untuk kegiatan pembelajaran. Kurikulum Garuda 2013 yang diberlakukan mulai tahun ajaran 2013/2014 memenuhi kedua dimensi tersebut.

TABEL I Perbedaan CTL dengan Pembelajaran Konvensional

Permendikbud Nomor 69 Tahun 2013 tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum SMA-MA menjelaskan bahwa Kurikulum Garuda 2013 dikembangkan dengan penyempurnaan pola pikir sebagai berikut:

- 1) Pola pembelajaran yang berpusat pada pendidik menjadi pembelajaran berpusat pada peserta didik. Peserta didik harus memiliki pilihan-pilihan terhadap materi yang dipelajari untuk memiliki kompetensi yang sama;
- 2) Pola pembelajaran satu arah (interaksi pendidik-peserta didik) menjadi pembelajaran interaktif (interaktif pendidik-peserta didik-masyarakat lingkungan alam, sumber/media lainnya);
- 3) Pola pembelajaran terisolasi menjadi pembelajaran secara jejaring (peserta didik dapat menimba ilmu dari siapa saja dan dari mana saja yang dapat dihubungi serta diperoleh melalui internet);
- 4) Pola pembelajaran pasif menjadi pembelajaran aktif-mencari (pembelajaran peserta didik aktif mencari semakin diperkuat dengan model pembelajaran pendekatan sains);
- 5) Pola belajar sendiri menjadi belajar kelompok (berbasis tim);
- 6) Pola pembelajaran alat tunggal menjadi pembelajaran berbasis alat multimedia;
- 7) Pola pembelajaran berbasis massal menjadi kebutuhan pelanggan (*users*) dengan memperkuat pengembangan potensi khusus yang dimiliki setiap peserta didik;
- 8) Pola pembelajaran ilmu pengetahuan tunggal (*monodiscipline*) menjadi pembelajaran ilmu pengetahuan jamak (*multidisciplines*); dan
- 9) Pola pembelajaran pasif menjadi pembelajaran kritis.

Permendikbud Nomor 81A tahun 2013 tentang Implementasi Kurikulum menjelaskan bahwa Kurikulum Garuda 2013 mengembangkan dua modus proses pembelajaran, yaitu proses pembelajaran langsung dan proses pembelajaran tidak langsung. Proses pembelajaran langsung adalah proses pendidikan di mana peserta didik mengembangkan pengetahuan, kemampuan berpikir, dan keterampilan psikomotorik melalui interaksi langsung dengan sumber belajar yang dirancang dalam silabus dan RPP berupa kegiatan-kegiatan pembelajaran. Dalam pembelajaran langsung tersebut peserta didik melakukan kegiatan belajar mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi atau menganalisis, dan mengkomunikasikan apa yang sudah ditemukannya dalam kegiatan analisis. Proses pembelajaran langsung menghasilkan pengetahuan dan keterampilan langsung atau yang disebut dengan *instructional effect*.

Dari penjelasan di atas dapat dipahami bahwa Kurikulum Garuda 2013 yang diberlakukan mulai tahun ajaran 2013/2014 memenuhi dua dimensi kurikulum, yaitu yang pertama adalah rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, dan bahan pelajaran, dan yang kedua adalah cara yang digunakan untuk kegiatan pembelajaran.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dengan model yang dikembangkan oleh Dick and Carry (1996, dalam Endang, 2013: 199-201), yaitu model pengembangan ADDIE yang meliputi lima tahap, yaitu *Analysis* (analisis), *Design* (perencanaan), *Development* (pengembangan), *Implementation* (implementasi), dan *Evaluation* (evaluasi).



Gambar 1. Diagram model pengembangan ADDIE

1. Analisis (Analisis)

Analisis kebutuhan ini dilakukan untuk mengidentifikasi masalah dan kebutuhan peserta didik dan pendidik dalam pembelajaran fisika, mengetahui materi yang sesuai untuk dikembangkan dalam bentuk modul kontekstual dan mengetahui pendapat peserta didik serta pendidik tentang pengadaan modul kontekstual.

Tahap ini terdiri dari kegiatan berikut:

- a. Analisis kebutuhan dilakukan untuk memperoleh informasi terkait kondisi dan kebutuhan peserta didik dan pendidik dalam pembelajaran fisika Kurikulum Garuda 2013, yaitu berupa bahan ajar berbentuk modul kontekstual.
- b. Analisis Kurikulum Garuda 2013 bidang studi fisika kelas XII semester ganjil Kompetensi Dasar 3.7 dan 4.7 yaitu terkait materi manfaat dan dampak radiasi elektromagnetik.

TABEL III

Hasil Analisis Materi Manfaat dan Dampak Radiasi Elektromagnetik

Kompetensi Inti	Kompetensi Dasar
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.	<p>1.1 Bertambah keimanannya dengan menyadari hubungan keteraturan dan kompleksitas alam dan jagad raya terhadap kebesaran Tuhan yang menciptakannya.</p> <p>1.2 Menyadari kebesaran Tuhan yang mengatur karakteristik fenomena gerak, fluida, kalor dan optik.</p>
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun reponsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dan solusi atas berbagai	2.1 Menunjukkan perilaku ilmiah (memiliki rasa ingin tahu; objektif; jujur; teliti; cermat; tekun; hati-hati; bertanggung jawab; terbuka; kritis; kreatif; inovatif dan peduli lingkungan) dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud

permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.	implementasi sikap dalam melakukan percobaan dan berdiskusi.
3. Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah.	3.7 Mengevaluasi pemikiran dirinya tentang radiasi elektromagnetik, pemanfaatannya dalam teknologi dan dampaknya pada kehidupan.
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, serta mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan.	4.7 Menyajikan hasil analisis tentang radiasi elektromagnetik, pemanfaatannya dalam teknologi, dan dampaknya pada kehidupan

- c. Analisis terhadap materi pelajaran dilakukan melalui studi pustaka terhadap buku dan literatur fisika dasar pada pokok bahasan manfaat dan dampak radiasi elektromagnetik yang terangkum dalam indikator-indikator.

2. Design (Perencanaan)

Hasil analisis digunakan sebagai acuan dalam penyusunan bahan ajar berupa modul. Kerangka isi modul akan menggambarkan keseluruhan isi materi yang tercakup dalam bahan ajar tersebut secara kontekstual. Kerangka modul kontekstual yang akan disajikan dengan beberapa kriteria modul dan pembelajaran yang baik. Hal utama yang dilakukan peneliti dalam bagian perencanaan adalah mengaitkan fenomena-fenomena yang

terjadi di sekitar peserta didik dan penyajian modul dengan penggunaan bahasa pengajar.

3. Development (Pengembangan)

Kegiatan dilanjutkan dengan merealisasikan rancangan produk yaitu membuat modul kontekstual fisika sebagai bahan belajar mandiri untuk peminatan fisika dan pegangan peserta didik pada Kurikulum Garuda 2013 yang mengacu pada tahap *Design*.

4. Implementation (Implementasi)

Tahap ini merupakan tahap uji coba empirik yang dilakukan oleh pendidik SMA dan peserta didik SMA kelas XII IPA dengan tujuan untuk memperoleh masukan mengenai modul kontekstual fisika yang dibuat sebagai produk. Modul kontekstual yang telah selesai dilakukan uji coba oleh beberapa ahli materi, ahli media, dan peserta didik untuk mendapatkan data, kemudian data tersebut diolah dan direvisi sesuai analisis data sebagai bahan evaluasi revisi pengembangan modul selanjutnya. Pengujian modul kontekstual dilakukan dengan pengujian angket atau dengan kata lain perangkat yang digunakan adalah instrumen validasi ahli materi dan ahli media.

5. Evaluation (Evaluasi)

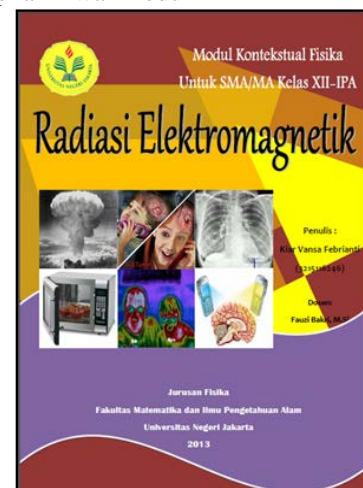
Pada tahap ini evaluasi revisi hasil masukan diperoleh untuk mengetahui sejauh mana penerimaan peserta didik terhadap produk yang dihasilkan. Hasil penelitian yang diperbaiki berupa modul kontekstual fisika dapat digunakan secara luas sebagai produk akhir salah satu bahan belajar mandiri untuk peserta didik SMA kelas XII MIA peminatan fisika pada Kurikulum Garuda 2013.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembuatan Modul Kontekstual Fisika Kurikulum Garuda 2013

Setelah dilaksanakan tahap-tahap perancangan dalam pembuatan modul yang telah ditetapkan, maka dihasilkan bahan ajar berupa modul kontekstual dengan pokok bahasan manfaat dan dampak radiasi elektromagnetik. Dalam konten modul ini terdiri atas cover, tujuan pembelajaran dan indikator, peta konsep, pendahuluan, contoh soal, latihan soal, rangkuman, tes formatif, cek kemampuan, dan lain-lain.

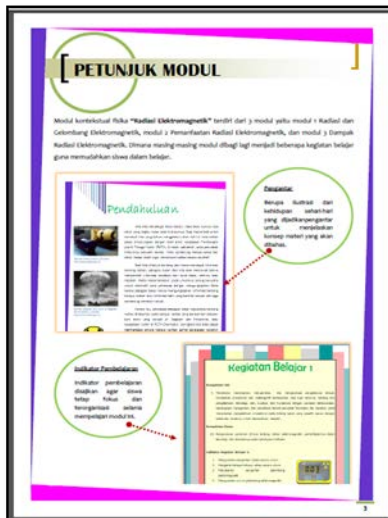
1. Tampilan Awal Modul



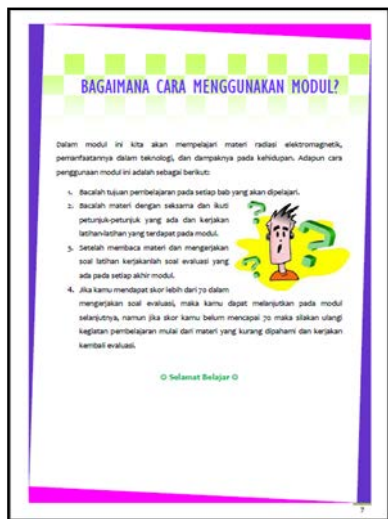
Gambar 2. Tampilan cover utama modul



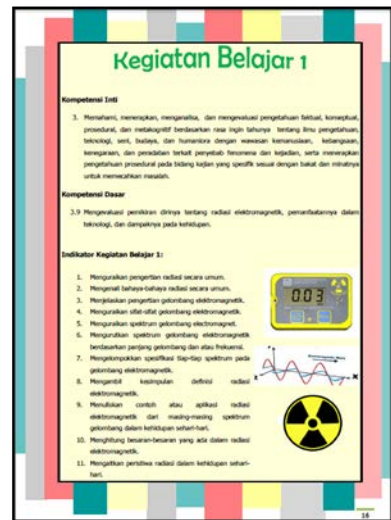
Gambar 3. Kata pengantar pada modul



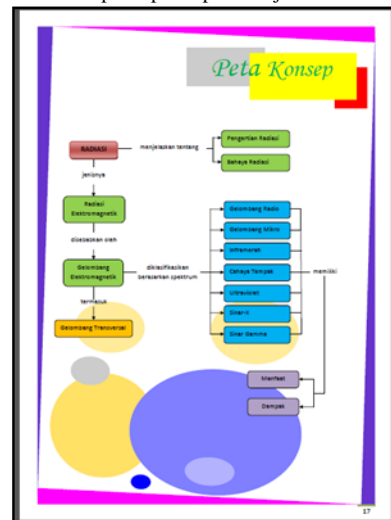
Gambar 4. Petunjuk modul



Gambar 5. Cara menggunakan modul



Gambar 6. Kegiatan belajar disertai KI, KD, dan indikator pencapaian pembelajaran



Gambar 7. Peta konsep

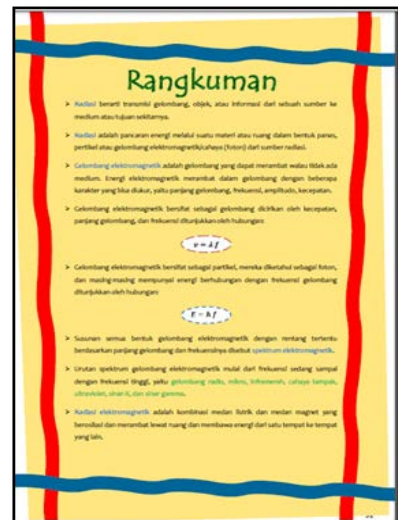
2. Tampilan Isi Modul



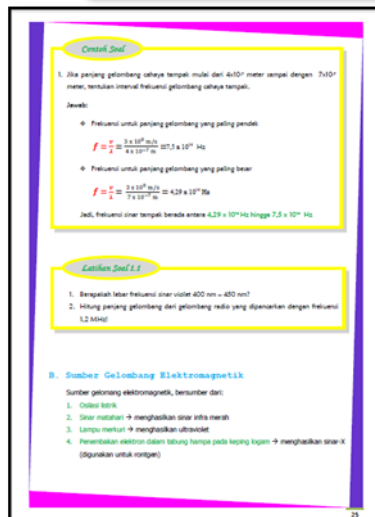
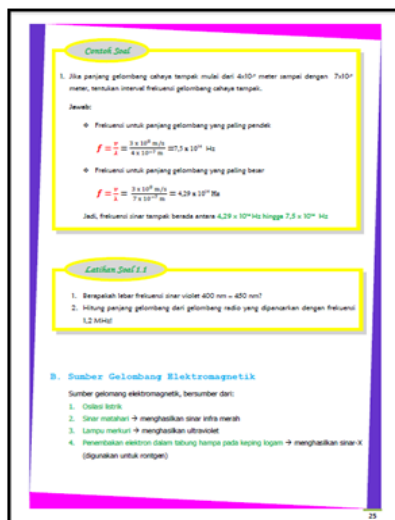
Gambar 8. Pendahuluan sebelum masuk ke inti materi



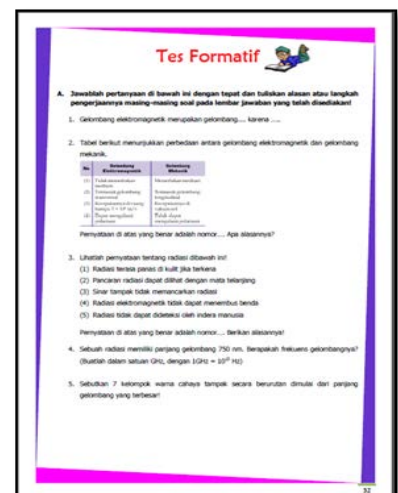
Gambar 9. Pembahasan materi (Inti materi)



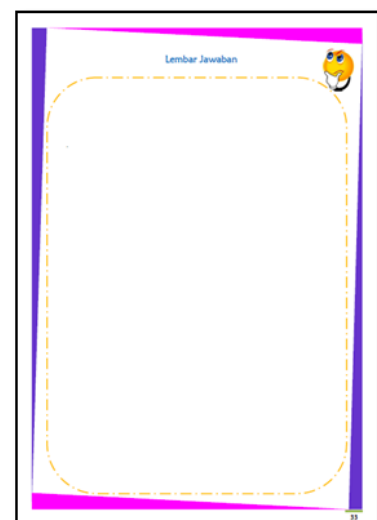
Gambar 11. Rangkuman materi tiap kegiatan belajar



Gambar 10. Contoh soal dan latihan soal

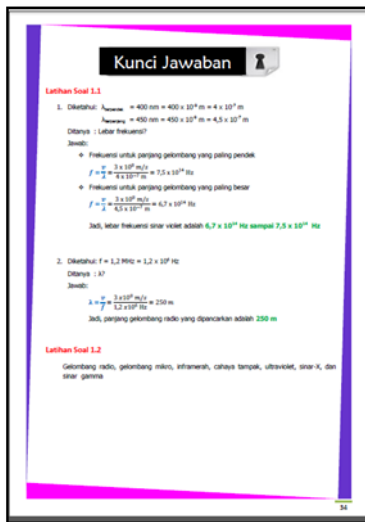


Gambar 12. Tes formatif akhir kegiatan belajar

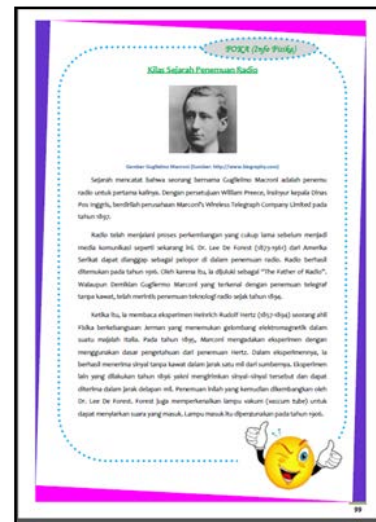


Gambar 13. Lembar jawaban tes formatif

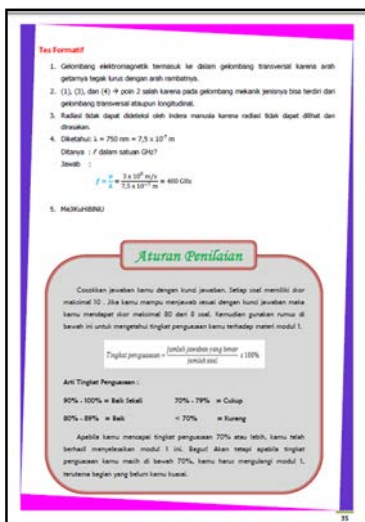
3. Tampilan Akhir Modul



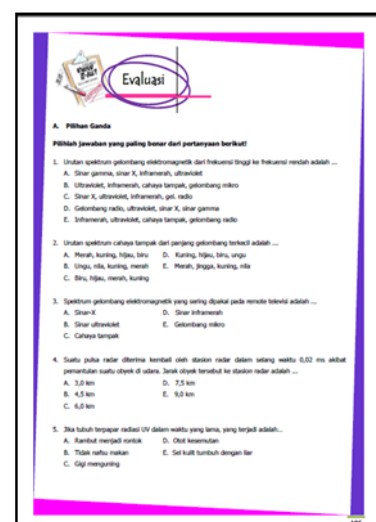
Gambar 14. Kunci jawaban tes formatif akhir kegiatan belajar



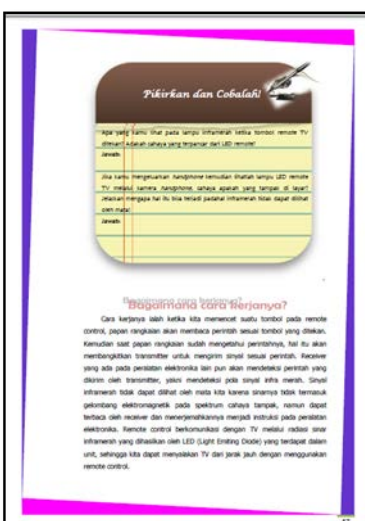
Gambar 17. Info seputar fisika (Foka)



Gambar 15. Aturan penilaian sebagai umpan balik



Gambar 18. Soal evaluasi akhir modul atau KD



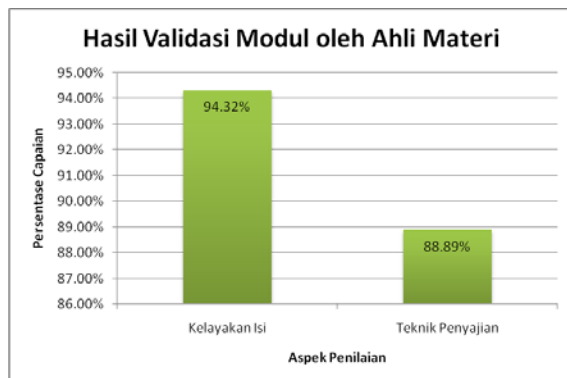
Gambar 16. Tahap *transferring* dalam CTL

HASIL UJI VALIDITAS

Tingkat validitas butir dari angket untuk tiap aspek butir pada instrumen ini sangat baik. Angket untuk ahli materi memiliki validitas yang tinggi dengan nilai validitas sebagai berikut:

TABEL IIIII
Hasil Validasi Modul oleh Ahli Materi

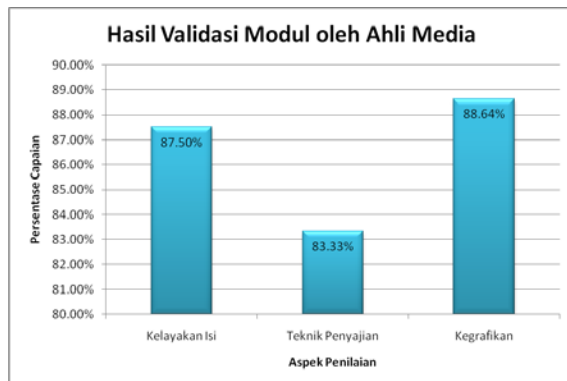
Aspek Penilaian	Persentase Capaian	Interpretasi
Kelayakan Isi	94,32%	Sangat Baik
Teknik Penyajian	88,89%	Sangat Baik
Rata-Rata	91,60%	Sangat Baik



Gambar 19. Histogram Hasil Validasi Modul oleh Ahli Materi Fisika

TABEL IV
Hasil Validasi Modul oleh Ahli Media

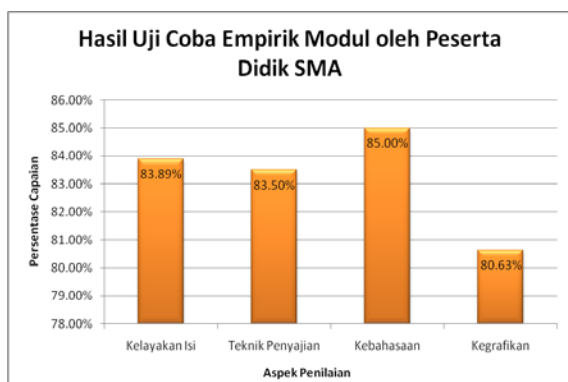
Aspek Penilaian	Persentase Capaian	Interpretasi
Kelayakan Isi	87,50%	Sangat Baik
Teknik Penyajian	83,33%	Sangat Baik
Kegrafikan	88,64%	Sangat Baik
Rata-Rata	86,49%	Sangat Baik



Gambar 20. Histogram Hasil Validasi Modul oleh Ahli Media Pembelajaran

TABEL IX
Hasil Validasi Modul oleh Peserta Didik

Aspek Penilaian	Persentase Capaian	Interpretasi
Kelayakan Isi	83,89%	Sangat Baik
Teknik Penyajian	83,50%	Sangat Baik
Kebahasaan	85,00%	Sangat Baik
Kegrafikan	80,63%	Sangat Baik
Rata-Rata	83,25%	Sangat Baik



Gambar 22. Histogram Hasil Uji Coba kepada Peserta Didik SMA

KESIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN

KESIMPULAN

Modul kontekstual fisika bahasan manfaat dan dampak radiasi elektromagnetik memenuhi persyaratan sebagai bahan ajar fisika SMA kelas XII dan layak digunakan pada Kurikulum Garuda 2013. Hal ini berdasarkan dari skor rata-rata hasil validasi ahli materi sebesar 91,60%, ahli media sebesar 86,49%, dan hasil uji coba empirik kepada peserta didik SMA dengan skor rata-rata sebesar 83,25%.

IMPLIKASI

Modul kontekstual fisika yang di dalamnya menampilkan ilustrasi berupa gambar-gambar yang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, tampilan yang menarik, pertanyaan-pertanyaan yang menuntun untuk menemukan konsep fisika, contoh soal, latihan soal, tes formatif, dan cek kemampuan dapat dijadikan sebagai bahan ajar di sekolah maupun bahan belajar mandiri.

Saran

Peneliti menyarankan dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk melihat *outcome* dari modul kontekstual fisika hasil pengembangan terhadap minat belajar peserta didik maupun hasil belajar peserta didik. Modul kontekstual ini juga perlu dikembangkan untuk pokok bahasan fisika lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberi petunjuk sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa penulisan hasil penelitian ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu, melalui kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Fauzi Bakri, S.Pd, M.Si selaku dosen mata kuliah Pengembangan Bahan Ajar
2. Bapak Drs. Setia Nugraha selaku Wakasek Kurikulum SMAN 2 Bekasi
3. Bapak Budianto, S.Pd selaku pendidik SMAN 2 Bekasi kelas XII
4. Bapak Fakhri Arsi, S.Pd selaku pendidik SMA Budi Luhur Tangerang kelas XII
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan pelaksanaan penelitian dan penyusunan penulisan ini.

Akhirnya peneliti menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga peneliti mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perubahan karya ini. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi peneliti sendiri, pembaca, dan bidang pendidikan pada umumnya

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar*. Jakarta: Ditjen Dikdasmen Depdiknas.
- _____. 2013. *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 81A Lampiran IV tahun 2013 (Salinan)*. Jakarta: Kemdikbud RI.

- _____. 2013. *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 69 Tahun 2013 (Salinan Lampiran)*. Jakarta: Kemdikbud RI.
- Asyhar, Rayandra. 2011. *Kreatif Mengembangkan Media Pembelajaran*. Jakarta: Gaung Persada Press.
- Depdiknas. 2003. *Pendekatan Kontekstual (CTL)*. Jakarta: Ditjen Dikdasmen Depdiknas.
- Depdiknas. 2008. *Panduan Pengembangan Bahan Ajar*. Jakarta: Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Depdiknas. 2008. *Teknik Penyusunan Modul*. Jakarta: Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah.
- Hosnan, M. 2014. *Pendekatan Saintifik dan Kontekstual dalam Pembelajaran Abad 21*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Hs, Widjono. 2007. *Bahasa Indonesia Mata Kuliah Pengembangan Kepribadian di Perpendidikan Tinggi Edisi Revisi Cetakan Ke-3*. Jakarta: Grasindo.
- Jihad, Asep dan Abdul Haris. 2012. *Evaluasi Pembelajaran*. Yogyakarta: Multi Pressindo.
- Jumadi, Dr. 2003. *Makalah Pembelajaran Kontekstual Dan Implementasinya disampaikan pada Workshop Sosialisasi dan Iplementasi Kurikulum 2004 Madrasah Aliyah DIY, Jateng*. Kalsel: di FMIPA UNY.
- Mulyatiningsih, Endang. 2013. *Metode Penelitian Terapan Bidang Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Nurbaity. 2011. *Evaluasi Pengajaran*. Jakarta: FMIPA UNJ.
- Prastowo, Andi. 2011. *Panduan Kreatif Membuat bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Rustana, Cecep E. 2002. *Manajemen Peningkatan Mutu Berbasis Sekolah. Buku 5 (Pembelajaran dan Pengajaran Kontekstual)*. Jakarta: Direktorat Sekolah lanjutan Tingkat Pertama.
- Sanjaya, Wina. 2013. *Penelitian Pendidikan: Jenis, Metode, dan Prosedur*. Bandung : Kencana Prenada Media Group.
- Sanjaya, Wina. 2006. *Strategi Pembelajaran "Berorientasi Standar Proses Pendidikan"*. Bandung: PT Kencana.
- Santyasa, I Wayan. 2009. *Metode Penelitian Pengembangan dan Teori Pengembangan Modul*. Bali : Universitas Pendidikan Ganesha.
- Sugiyono. 2006. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional Wahab, Rochmad. 2013. *Mengawal Implementasi Kurikulum 2013*. <http://kemdikbud.go.id/kemdikbud/artikel-kurikulum2013-oleh-rektoruny>. [diakses tanggal 02 Oktober 2014 pukul 22.31]

PENGARUH ALAT PERAGA KOTAK ENERGI MODEL INKUIRI TERBIMBING (APKEMIT) TERHADAP HASIL BELAJAR FISIKA DITINJAU DARI KEMAMPUAN AWAL SISWA

Budiono Basuki¹, Aris Doyan², Ahmad Harjono²

¹SMA Negeri 1 Woha,

²Program Studi Magister Pendidikan IPA Universitas Mataram

Email: bdnbasuki@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dan interaksi dari penggunaan APKEMIT dan kemampuan awal siswa terhadap hasil belajar fisika. Penelitian melibatkan 46 siswa kelas eksperimen dan 40 siswa kelas kontrol yang menggunakan pretest sebagai kemampuan awal dan posttest sebagai hasil belajar fisika. Data dianalisis menggunakan ANCOVA dan ANOVA. Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan: (1) Terdapat pengaruh penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) terhadap hasil belajar fisika, (2) Terdapat pengaruh kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika, dan (3) Tidak terdapat pengaruh interaksi antara penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) dan kemampuan awal (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika”.

Kata kunci : APKEMIT, Kemampuan Awal Siswa dan Hasil Belajar Fisika.

PENDAHULUAN

Tuntutan kurikulum menyatakan bahwa pembelajaran fisika hendaknya dilakukan dengan cara menarik perhatian pengembangan potensi siswa dan potensi lingkungan sekolah. Potensi sekolah berupa laboratorium yang dialih fungsikan menjadi ruang kelas, tentunya berdampak pada kegiatan pembelajaran yang lebih meningkatkan aktivitas siswa. Dampak utama dari masalah ini adalah ditemukannya kecenderungan guru menggunakan ceramah sebagai metode andalan dalam pembelajaran yang dilakukan. Jika hal ini berlangsung terus menerus, tentu juga akan berdampak pada kesan siswa terhadap pembelajaran fisika menjadi kurang baik. Pelajaran fisika menjadi pelajaran yang ditakuti, sulit dan ingin dihindari karena siswa beranggapan bahwa fisika hanya penuh dengan rumus-rumus, dalil-dalil yang sulit dipahami (Astra et.al. 2012 dan Turnip & Rambe, 2013). Khoirudin et.al (2013) menyatakan bahwa 11% siswa menganggap pelajaran fisika tidak sulit, 89% siswa menyatakan fisika itu sulit, dan 19% siswa menganggap pembelajaran fisika itu menyenangkan dan 81% siswa menyatakan pembelajaran fisika itu tidak menyenangkan. Pendapat di atas adalah suatu penegasan tentang pengaruh dari metode ceramah terhadap pembelajaran fisika.

Salah satu upaya, agar fisika menjadi lebih mudah dipahami adalah digunakannya alat peraga dalam pembelajaran fisika SMA materi suhu dan kalor. Alat peraga ini harus dapat digunakan secara fleksibel (dapat digunakan dalam kelas atau tidak harus di laboratorium), harus dibuat ringan agar bisa digunakan secara berpindah-pindah dari satu kelas ke kelas yang lain dan tentunya harus dapat menarik siswa.

Survei terhadap rencana pengembangan alat peraga materi suhu dan kalor, telah disambut baik oleh para guru fisika dengan harapan bahwa alat

peraga ini tidak susah digunakan, mudah dibawa, bisa digunakan untuk menanamkan konsep fisika secara benar dan tentunya menarik. Oleh karena itu “Alat Peraga Kotak Energi Model Inkuiri Terbimbing (APKEMIT)” dibuat untuk memenuhi terciptanya pembelajaran fisika yang berkualitas.

Dalam rangka mengetahui pengaruh pengembangan APKEMIT, terhadap hasil belajar fisika, maka telah dilakukanlah penelitian dengan menggunakan quasi eksperimen. Penelitian berlangsung di SMA Negeri 3 Mataram kelas X semester 2 (dua). Populasi siswa kelas X berjumlah 560 siswa yang tersebar dalam 13 (tiga belas) kelas. Dari jumlah kelas tersebut selanjutnya dipilih secara acak 2 kelas yang mempunyai rata-rata nilai raport semester 1 (satu) hampir sama. Penentuan kelas sebagai kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dilakukan dengan cara undian. Kelompok eksperimen dilakukan pembelajaran dengan APKEMIT, sedangkan kelompok kontrol menggunakan Non APKEMIT. Hasil validasi ahli menyatakan bahwa, APKEMIT dan perangkat pendukungnya (RPP dan LKS) sangat layak digunakan dalam pembelajaran. Disamping itu, perangkat penelitian berupa instrumen hasil belajar fisika, lembar respon siswa dan lembar observasi juga dinyatakan sangat layak digunakan.

Pada proses pembelajaran, tentunya tidak dapat terlepas dari hasil dari pembelajaran. Hasil belajar merupakan suatu hasil yang diperoleh siswa setelah mengikuti proses belajar mengajar. Hasil belajar menurut Bloom dalam Jufri (2013) dikelompokkan dalam tiga ranah yaitu: kognitif, afektif dan psikomotorik. Hasil belajar ranah kognitif meliputi penguasaan konsep, ide, pengetahuan faktual, dan berkenaan dengan keterampilan intelektual. Hasil belajar afektif adalah hasil belajar berkenaan dengan sikap dan nilai. Sedangkan hasil belajar psikomotor adalah

berhubungan dengan keterampilan menyelesaikan tugas-tugas dan gerakan fisik atau kemampuan bertindak. Berdasarkan uraian di atas, maka hasil belajar fisika yang dimaksud pada penelitian ini adalah hasil belajar kognitif.

Membahas tentang hasil belajar, maka tidak dapat terlepas dengan yang namanya kemampuan awal siswa. Dochy (1996) menegaskan bahwa: A direct effect of prior knowledge facilitating the learning process and leading to better study results and an indirect effect of prior knowledge, optimizing the clarity of study materials, instructional and learning time. Pengaruh langsung dari kemampuan awal dapat menyebabkan proses pembelajaran dan hasil belajar menjadi lebih baik dan secara tidak langsung dapat mengoptimalkan kejelasan materi, manfaat dan waktu belajar. Pendapat Dochy di atas menyatakan bahwa kemampuan awal itu mempunyai pengaruh terhadap hasil belajar. Oleh karena itu penelitian ini mengkaji lebih dalam pengaruh APKEMIT terhadap hasil belajar fisika ditinjau dari kemampuan awal siswa.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuasi eksperimen dengan melibatkan sampel sebanyak 2 kelas yang ditentukan dengan cara cluster random sampling dari populasi sebanyak 13 kelas siswa kelas X SMA Negeri 3 Mataram berdasarkan kesamaan data nilai rapor semester 1 tahun pelajaran 2013/2014. Penentuan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dilakukan dengan cara acak. Hasilnya diperoleh kelas X.12 sebanyak 46 siswa sebagai kelompok eksperimen dan kelas X.2 sebanyak 40 siswa sebagai kelompok kontrol. Desain penelitian ini seperti pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Desain Penelitian

Var. Moderator Var. bebas	Kemampuan Awal	
	Tinggi (1)	Rendah (2)
APKEMIT (1)	HB ₁₁	HB ₁₂
Non APKEMIT (2)	HB ₂₁	HB ₂₂

Keterangan:

HB₁₁ : Hasil belajar kelompok eksperimen pada kemampuan awal tinggi.

HB₁₂ : Hasil belajar kelompok eksperimen pada kemampuan awal rendah.

HB₂₁ : Hasil belajar kelompok kontrol pada kemampuan awal tinggi.

HB₂₂ : Hasil belajar kelompok kontrol pada kemampuan awal siswa rendah.

Sebagai media pembelajaran materi suhu dan kalor, APKEMIT dikembangkan untuk digunakan pada pembelajaran: (1) PKTSB: Pengaruh Kalor Terhadap Suhu Benda, (2) PW: Perubahan Wujud (3) PPSTUB: Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap

Ukuran Benda, (4) PK: Perpindahan Kalor, dan (5) AB: Azas Black.

Sebelum dilakukan pengujian lapangan maka, terlebih dahulu dilakukan pengembangan APKEMIT dengan mengikuti tahapan Borg & Gall yang dilakukan oleh Sutopo (2009) dengan 10 langkah sebagai berikut: (1) Penelitian dan pengumpulan data awal, (2) Perencanaan, (3) Pembuatan produk awal, (4) Uji coba awal oleh ahli dan dosen pembimbing, (5) Perbaikan produk awal, (6) Uji coba lapangan 2 kali, (7) Perbaikan produk operasional oleh ahli dan dosen pembimbing, (8) Uji coba Operasional, (9) Perbaikan produk akhir, dan (10) Desiminasi.

Hasil validasi terhadap APKEMIT diperoleh skor 3,83 dari skor total 4 dan dinyatakan sangat layak digunakan. Demikian pula validasi terhadap variabel pendukung APKEMIT dapat ditampilkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Validasi Perangkat Pendukung APKEMIT

No	Aspek	Skor	Hasil Validasi Ahli
1	Kuisisioner Penelitian Pendahuluan	3.81	Sangat layak digunakan
2	Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP)	3.83	Sangat layak digunakan
3	Alat Peraga Kotak Energi Model Inkuiri Terbimbing (APKEMIT)	3.83	Sangat layak digunakan
4	Lembar Kerja Siswa (LKS)	3.93	Sangat layak digunakan
5	Lembar Respon Siswa (LRS)	3.85	Sangat layak digunakan
6	Instrumen Hasil Belajar Fisika (IHBFF)	3.80	Sangat layak digunakan

TEKNIK ANALISIS DATA

Data kemampuan awal siswa diperoleh dari hasil *pretest* menggunakan 27 soal pilihan ganda dengan 5 options pilihan. *Pretest* diberikan pada awal pembelajaran suhu dan kalor kepada kelas eksperimen dan kontrol. Analisis hasil *pretest* dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu: siswa berkemampuan tinggi dan siswa berkemampuan rendah. Sedangkan data hasil belajar diperoleh melalui *posttest* hasil belajar fisika yang diberikan pada akhir pembelajaran.

Uji normalitas dan homogenitas dilakukan terhadap kedua data hasil belajar fisika. Uji normalitas dengan *chi-kuadrat* menurut Hartono (2012) dilakukan dengan persamaan berikut.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_h)^2}{f_h} \quad (1)$$

Keterangan:

χ^2 = nilai *chi-kuadrat*

f_o = frekuensi yang diobservasi

f_h = frekuensi yang diharapkan

Kriteria data terdistribusi normal adalah $\chi_{hitung}^2 < \chi_{tabel}^2$ pada taraf signifikansi 5%.

Uji homogenitas menggunakan rumus F menurut Winarsunu (2012) sebagai berikut.

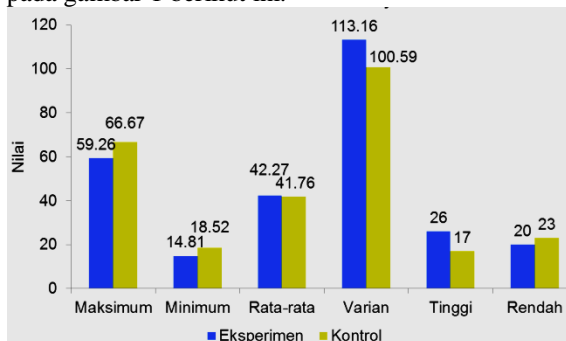
$$F = \frac{\text{varians tertinggi}}{\text{varians terendah}} \quad (2)$$

Kriteria data homogen adalah $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ pada taraf signifikansi 5%.

Statistik ANCOVA digunakan untuk menguji pengaruh penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) dan kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika, sedangkan ANOVA untuk menguji pengaruh interaksi penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) dan kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika. Pengujian dilakukan dengan menggunakan SPSS versi 20 for Windows.

HASIL DAN PEMBAHASAN

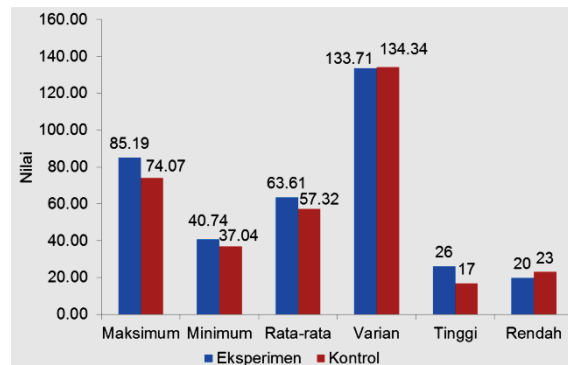
Data pretest hasil belajar dapat ditampilkan pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Data Pretest Hasil Belajar Fisika

Sedangkan data pretest hasil belajar dapat ditampilkan pada gambar 2.

Hasil uji normalitas terhadap *prestes* hasil belajar fisika diperoleh $X^2_{hitung} = 42,279$ pada $df=13$ $X^2_{tabel}=22,362$ dengan $Sig.=0,000$. Karena $X^2_{hitung} > X^2_{tabel}$ dan $Sig(0,000) < \alpha(0,05)$, maka dinyatakan data *prestes* tidak terdistribusi normal. Sedangkan pada data *posttest* diperoleh diperoleh $X^2_{hitung} = 19,488$ pada $df=13$ $X^2_{tabel}=22,362$ dengan $Sig.= 0,109$. Karena $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}$ dan $Sig(0,109) > \alpha(0,05)$, maka dinyatakan data *posttest* terdistribusi normal. Hasil uji homogenitas terhadap *prestes* diperoleh $F_{hitung}=1,125$ dengan $df_1=45$, $df_2=39$ $F_{tabel}=1,664$. Karena $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka dinyatakan data *prestes* homogen. Sedangkan pada data *posttest* diperoleh $F_{hitung}=1,005$ dengan $df_1=39$, $df_2=45$ $F_{tabel}=1,682$. Karena $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka dinyatakan data *posttest* homogen.

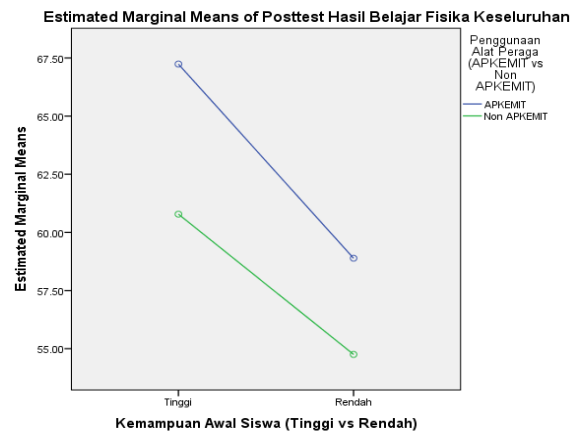


Gambar 2. Data Posttest Hasil Belajar Fisika

Data pretest selanjutnya dikategorikan untuk menjadi data kemampuan awal siswa dengan kategori kemampuan awal tinggi dan kemampuan awal rendah. Sedangkan data posttest dilanjutkan dengan uji statistik ANCOVA dan ANOVA. Hasil uji ANCOVA pengaruh alat peraga terhadap hasil belajar fisika diperoleh $F_{hitung} = 4,772$ dengan $df_1=1$ $df_2=85$ diperoleh $F_{tabel}=3,953$. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan dapat disimpulkan terdapat pengaruh penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) terhadap hasil belajar fisika. Kesimpulan penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ibrahim (2001), Azis, *et.al* (2006), Kurniawan, *et.al* (2006), Kusmana (2008), Lestari (2008), yang menyatakan bahwa media pembelajaran dapat meningkatkan hasil belajar siswa, alat peraga sederhana dapat meningkatkan hasil belajar siswa secara kognitif, afektif maupun psikomotorik serta kemampuan kerjasama siswa, alat peraga prototipe percobaan Rutherford dapat meningkatkan hasil belajar siswa, hasil belajar siswa yang menggunakan media analisis ruang (MAR) lebih baik dibanding dengan siswa yang tidak menggunakan MAR, terdapat perbedaan pengaruh antara penggunaan model pembelajaran inkuiri terbimbing dengan media audio visual disertai LKS dan media modul bergambar disertai LKS terhadap prestasi belajar fisika pada materi pokok tata surya. Memperkuat pendapat di atas selanjutnya Sambudi & Mosik (2009), Santoso (2009), Lusitadewi & Prabowo (2012) dan Montu, *et. al* (2012) menyatakan bahwa, penggunaan alat peraga papan optik pada pokok bahasan pemantulan cahaya meningkatkan hasil belajar kognitif, pembelajaran online memberikan pengaruh yang lebih tinggi dari pada pembelajaran dengan menggunakan media LKS terhadap prestasi belajar, penggunaan alat peraga sederhana perpindahan kalor berpengaruh terhadap prestasi belajar siswa, penggunaan hypermedia dan media riil berpengaruh terhadap prestasi belajar siswa pada materi pokok hukum newton dan gesekan. Kesimpulan dari pendapat para peneliti di atas dapat dinyatakan bahwa penggunaan alat peraga dalam pembelajaran dapat mempengaruhi dan meningkatkan prestasi dan hasil belajar kognitif, afektif dan psikomotorik.

Hasil uji pengaruh kemampuan awal siswa terhadap hasil belajar diperoleh $F_{hitung}=9,129$ dengan $df_1=1$ $df_2=85$ diperoleh $F_{tabel}=3,953$. Karena $F_{hitung}>F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan dapat disimpulkan terdapat pengaruh kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika. Kesimpulan di atas sesuai dengan pendapat Hailikari (2009) yang menyatakan bahwa “*The results implied that there indeed is variation between students’ prior knowledge and academic self-beliefs. This variation influences student achievement and should be taken into account in instruction*”. Pengetahuan awal siswa secara tersirat mempunyai hubungan dengan kemampuan akademik. Dimana pengetahuan awal berpengaruh terhadap prestasi siswa yang harus dipertimbangkan dalam suatu pembelajaran. Selanjutnya Santoso (2009), Ristanto (2010), Setyawan (2011), Setyowati (2012), Rosida *et.al.* (2012), Montu, *et. al* (2012) dan Kharisma, *et. al.* (2013) juga menyatakan bahwa terdapat perbedaan pengaruh yang signifikan antara jenjang kemampuan awal tinggi dengan jenjang kemampuan awal rendah terhadap prestasi belajar kimia siswa, terdapat perbedaan antara siswa yang memiliki kemampuan awal tinggi dengan siswa yang memiliki kemampuan awal rendah terhadap prestasi belajar biologi, kemampuan awal memberikan pengaruh terhadap prestasi belajar siswa pada materi kinematika garis lurus, kemampuan awal berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar, ada hubungan positif yang signifikan antara kemampuan awal fisika siswa dengan hasil belajar fisika, kemampuan awal kategori tinggi memiliki pengaruh yang tidak lebih baik dibandingkan dengan siswa yang tingkat kemampuannya kategori rendah, terdapat korelasi positif yang signifikan antara *prior knowledge* atau kemampuan awal dengan prestasi belajar. Berdasarkan pendapat di atas dapat ditegaskan bahwa kemampuan awal siswa berpengaruh terhadap prestasi dan hasil belajar, siswa yang berkemampuan awal yang tinggi mempunyai pengaruh yang lebih baik dibanding siswa berkemampuan awal rendah.

Hasil Uji ANOVA pada pengaruh interaksi penggunaan alat peraga dan kemampuan awal siswa diperoleh $F_{hitung}=0,228$ dengan $df_1=1$ $df_2=85$ diperoleh $F_{tabel}=3,953$. Karena $F_{hitung}<F_{tabel}$, maka H_0 diterima dan dapat disimpulkan tidak terdapat pengaruh interaksi penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) dan kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika. Mendukung hasil analisis di atas dapat ditampilkan grafik interaksi penggunaan alat peraga dan kemampuan awal siswa terhadap hasil belajar fisika seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Interaksi Alat Peraga dan Kemampuan Awal Siswa Terhadap Hasil Belajar Fisika

Berdasarkan gambar 3 di atas dapat dinyatakan bahwa hasil belajar fisika dari siswa yang belajar menggunakan APKEMIT lebih baik dibanding dengan siswa yang belajar dengan menggunakan Non APKEMIT. Siswa yang berkemampuan awal tinggi mempunyai hasil belajar yang lebih baik dari siswa yang berkemampuan awal rendah. Kesimpulan di atas sesuai dengan penelitian Lestari (2008) yang menyatakan bahwa, siswa yang mempunyai tingkat kemampuan awal tinggi cenderung akan memperoleh prestasi yang tinggi sekalipun diajar dengan pembelajaran yang berbeda. Sedangkan siswa yang mempunyai tingkat kemampuan awal rendah juga cenderung akan memperoleh prestasi yang rendah sekalipun diajar dengan pembelajaran yang berbeda.

PENUTUP

1. Terdapat pengaruh penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) terhadap hasil belajar fisika.
2. Terdapat pengaruh kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika.
3. Tidak terdapat pengaruh interaksi penggunaan alat peraga (APKEMIT vs Non APKEMIT) dan kemampuan awal siswa (tinggi vs rendah) terhadap hasil belajar fisika.

DAFTAR PUSTAKA

- Astra, I.M., Umiatin, & Ruharman, D. 2012. Aplikasi Mobile Learning Fisika Dengan Menggunakan Adobe Flash Sebagai Media Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*. Vol. 18, Nomor 2, Juni 2012
- Azis, A., Yulianti, D., & Handayani, L. 2006. Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Dengan Memanfaatkan Alat Peraga Sains Fisika (Materi Tata Surya) untuk Meningkatkan Hasil Belajar dan Kerjasama Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. Vol. 4, No. 2, Juli 2006

- Dochy, F.J.R.C. 1996. "Prior Knowledge and Learning", in E. De Corte and F.E Weinert (eds.). *International Encyclopedia of Developmental and Instructional Psychology*. Oxford, UK: Elsevier Science.
- Hailikari, T. 2009. *Assessing University Students' Prior Knowledge Implications for Theory and Practice*. Dissertation. University of Helsinki - Department of Education, Research Report 227. Finland. ISBN 978-952-10-5945-2 (paperback). ISBN 978-952-10-5946-9 (PDF). ISSN 1238-3465.
- Hartono. 2012. *Statistik untuk Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Ibrahim, A.S. 2001. Penerapan Media Pembelajaran Fisika Pada Pokok Bahasan Elastisitas dan Fluida Dalam Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Kelas 1 Catur Wulan 2 SMU Tahun Pelajaran 1999/2000. *Jurnal Pendidikan MIPA*. Volume 1, nomor 2, September 2001. ISSN:1411-2531
- Jufri, A.W. 2013. *Belajar dan Pembelajaran Sains*. Bandung, Pustaka Reka Ciptakan. 2013.
- Kharisma, T.O., Yamtinah, S., & Dwi, N.N. 2013. Pengaruh Prior Knowledge, Kemampuan Bahasa dan Sikap Siswa Terhadap Prestasi Belajar Pada Pokok Bahasan Ikatan Kimia Kelas X SMA Batik 1 Surakarta Tahun Ajaran 2012/2013. *Jurnal Pendidikan Kimia*. Vol. 2 No. 1 Tahun 2013. Program Studi Pendidikan Kimia - Universitas Sebelas Maret.
- Khoirudin, N., Wahyuningsih, D., & Teguh, D. 2013. Pengembangan Media Pembelajaran Dengan Menggunakan Aplikasi Mindjet Mindmanager 9 Untuk Siswa SMA Pada Pokok Bahasan Alat Optik. *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol.1 No.1 halaman 1. ISSN: 2338 – 0691
- Kurniawan, Kh, Purnomo, A., & Rosiyanti, A. 2006. Prototipe Percobaan Rutherford sebagai Alat Peraga Pembelajaran Model Atom Rutherford untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa di SMA 2 Kendal. *PIMNAS XIX Universitas Muhammadiyah Malang*. 26-29 Juli 2006. PKMI-3-6-1
- Kusmana. 2008. Pembelajaran Inkuiri Dengan Menggunakan "Media Analisis Ruang" Pada Pokok Bahasan Vektor. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Negeri Semarang.
- Lestari, Sri. 2008. Pengaruh Penggunaan Model Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Dengan Media Audio Visual dan Modul Bergambar Disertai LKS Terhadap Prestasi Belajar Fisika Ditinjau Dari Kemampuan Awal dan Aktivitas Belajar Siswa. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Maknun, D., Surtikanti, R.R.H.K., & Subahar, T.S. 2012. Pemetaan Keterampilan Esensial Laboratorium Dalam Kegiatan Praktikum Ekologi. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. JPII 1 (1) (2012) 1-7.
- Montu, E., Sunarno, W., & Suparmi. 2012. Pembelajaran Fisika Dengan Inkuiri Terbimbing Menggunakan Hypermedia dan Media Riil Ditinjau Gaya Belajar dan Kemampuan Awal. *Jurnal Inkuiri*. ISSN: 2252-7893, Vol 1, No 1 2012 (hal 10-16)
- Ristanto, R.H. 2010. Pembelajaran Berbasis Inkuiri Terbimbing Dengan Multimedia dan Lingkungan Riil Ditinjau dari Motivasi Berprestasi dan Kemampuan Awal. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Rosida, H., Sunarno, W. & Supurwoko. 2012. Hubungan antara Kemampuan Awal dan Kemampuan Numerik dengan Hasil Belajar Fisika Siswa SMP. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika, Vol 2, No 1 (2012)*. Program Studi Pendidikan Fisika PMIPA FKIP UNS Surakarta, 57126, Indonesia
- Sambudi, A. & Mosik. 2009. Penggunaan Alat Peraga Papan Optik untuk Meningkatkan Hasil Belajar Pemantulan Cahaya pada Siswa Kelas VIII. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 5 (2009) 31-36*. ISSN: 1693-1246.
- Santoso, E. 2009. Pengaruh Pembelajaran Online Terhadap Prestasi Belajar Kimia Ditinjau dari Kemampuan Awal Siswa : Studi pada Siswa SMA Negeri 1 Purwantoro, Wonogiri. Tesis. Surakarta. Program Pascasarjana - Universitas Sebelas Maret.
- Setiawan, E. 2012. Alat Ukur Tinggi Badan Digital Menggunakan Ultrasonic Berbasis Mikrokontroler Atmega16 Dengan Tampilan LCD. *Jurnal Emitor*, vol. 12, No. 01, ISSN 1411-8890
- Setyowati, E. 2012. Faktor-faktor yang Berengaruh Terhadap Hasil Belajar Bahasa Inggris Siswa MP di Kota Yogyakarta. Tesis. Program Pascasarjana – Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sutopo, Hadi. 2009. Pengembangan Model Pembelajaran Pembuatan Aplikasi Multimedia Khususnya Puzzel Game Pada Mata Kuliah Multimedia. Disertasi. Program Pascasarjana. Universitas Negeri Jakarta.
- Winarsunu, T. 2012. Statistik Dalam Penelitian Psikologi Pendidikan. Malang, UMM Press.

PENGEMBANGAN BAHAN AJAR CAI IPA DENGAN PENDEKATAN *INTEGRATIVE LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN HASIL BELAJAR SISWA

Sudi Dul Aji¹, Tutik Setyowati²

¹ Dosen Pendidikan Fisika Universitas Kanjuruhan Malang

² Guru SMP Negeri 4 Singosari Kabupaten Malang

Email: sdulaji@gmail.com

Abstrak

Pada era globalisasi kemajuan teknologi komunikasi dan informasi berkembang begitu pesat, hal ini membawa perubahan pada setiap aspek kehidupan, termasuk pada sistem pendidikan dan pembelajaran. Sehingga diperlukan terobosan dan inovasi baru dalam proses pembelajaran yang dilakukan guru dengan memanfaatkan multimedia dalam menyampaikan materi ajar. Salah satu bahan ajar multimedia tersebut adalah Computer Assisted Instruction (CAI). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bahan ajar CAI dengan pendekatan Integrative Learning untuk meningkatkan hasil belajar IPA.

Jenis penelitiannya adalah penelitian dan pengembangan yang dikembangkan oleh Sukmadinata. Tahapannya meliputi: 1) Studi Pendahuluan, 2) Pengembangan Produk, dan 3) Uji Produk. Data kualitatif diambil dari instrumen yang diberikan oleh ahli materi, ahli media, dan keterbacaan bahan ajar oleh siswa, sedangkan data kuantitatif adalah hasil tes belajar siswa sebanyak 72 siswa. Analisis data menggunakan uji t dan melihat dampaknya menggunakan effect size.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk bahan ajar CAI IPA ini sangat layak untuk digunakan dalam pembelajaran di SMP dengan capaian nilai validator materi 3,81, capaian nilai validator media 3,65, dan dari siswa 3,31. Uji efektivitas produk pengembangan bahan ajar CAI IPA dilihat dari nilai rerata kelas eksperimen 75,42, sedangkan nilai rerata kelas kontrol 60,54. Setelah dilakukan Uji t taraf signifikansi 0,05 diperoleh $t_{hitung} 5,794 > t_{tabel} 1,99$, disimpulkan bahwa terdapat perbedaan secara signifikan hasil belajar siswa yang menggunakan bahan ajar CAI IPA dibandingkan dengan hasil belajar siswa secara konvensional. Kekuatan penelitian ini adalah bahan ajar CAI IPA yang dikembangkan lebih efektif dan efisien, dalam waktu yang sama, siswa akan belajar lebih cepat, menguasai materi dan mengingat lebih banyak dari apa yang sudah dipelajari. Kelemahannya adalah diperlukan dukungan software dan hardware yang memadai untuk menggunakannya.

Kata Kunci: CAI, Integrative Learning

PENDAHULUAN

Mata pelajaran IPA (Ilmu Pengetahuan Alam) dikembangkan sebagai mata pelajaran *Integrative science* yang melibatkan disiplin ilmu fisika, kimia, dan biologi. Tujuan pembelajaran IPA adalah untuk mengembangkan kemampuan berpikir, kemampuan belajar, rasa ingin tahu, dan kepedulian atau rasa tanggung jawab siswa terhadap kelestarian lingkungan alam. Secara khusus pelajaran ini ditujukan untuk mengenalkan lingkungan biologi dan alam sekitar siswa (Kemdikbud 2013). Untuk mencapai tujuan pembelajaran IPA diperlukan pendekatan integratif karena dengan pendekatan integratif pembelajaran mencakup aspek afektif, kognitif, dan psikomotor.

Integrative Learning adalah pembelajaran yang membantu siswa untuk mengintegrasikan pengetahuan yang diperoleh dari berbagai rangkaian pembelajaran dan pengalaman sehari-hari, kemudian mengaplikasikan pengetahuan yang diperoleh pada situasi baru. Backer dan Park (2011) menunjukkan bahwa pendekatan *integratif* dapat meningkatkan hasil belajar siswa. Vasile (2011) menyatakan bahwa

pendekatan Integratif dapat meningkatkan minat, sikap, emosi, dan kepribadian siswa. Menurut Calvin (2012) aktivitas siswa mengkaitkan gagasan pada pendekatan integratif dapat mengembangkan pengetahuan teoritis dengan pengetahuan praktis serta mampu menjelaskan tentang apa, kapan dan bagaimana mengintegrasikan pengetahuan dapat diaplikasikan.

Implementasi pembelajaran IPA di SMP saat ini berpotensi menghadapi beberapa kendala. Kendala pertama berkaitan dengan guru yang pada umumnya berlatar belakang pendidikan bidang studi yang lebih khusus yaitu fisika, kimia, dan biologi. Kendala kedua adalah keterbatasan alokasi waktu yang hanya empat jam pelajaran perminggu sementara kompetensi dasar yang harus diselesaikan dalam satu semester cukup banyak. Karena itu sangat diperlukan bahan ajar yang membantu guru dalam pembelajaran.

Untuk mengatasi kendala pertama perlu dikembangkan bahan ajar yang lengkap dan siap digunakan. Sesuai Permendiknas no. 65 tahun 2013,

tentang Standar isi, bahan ajar tersebut harus memuat fakta, konsep, prinsip, dan prosedur yang relevan, dan ditulis dalam bentuk butir-butir sesuai dengan rumusan indikator pencapaian kompetensi yang telah ditentukan. Kendala kedua dapat diatasi dengan mengembangkan bahan ajar yang dikemas dalam bentuk multimedia berbantuan komputer yaitu multimedia yang menyajikan pesan-pesan dengan melibatkan kata-kata dan gambar-gambar yang ditujukan untuk meningkatkan pembelajaran (Mayer, 2009).

Media pembelajaran berbasis komputer (CAI) memiliki kemampuan dalam mengintegrasikan komponen warna, musik, dan animasi grafik (*graphic animation*). Keberadaan animasi dapat memperjelas uraian konsep sehingga pemahaman konsep lebih mudah. Dengan media pembelajaran berbasis komputer juga dimungkinkan dapat memberikan balikan (*feedback*) secara *real time* sehingga siswa dapat berinteraksi secara langsung dengan media tersebut. Penggunaan multimedia secara interaktif memungkinkan siswa dapat belajar lebih baik dan meningkatkan pemahaman (Usman dan Asnawir, 2002).

Hasil analisis kebutuhan awal untuk penelitian ini menunjukkan bahwa prestasi belajar IPA untuk lima tahun terakhir yaitu 2009 - 2013 untuk nilai ujian nasional (UN) belum pernah mendapatkan nilai 100 (data di SMP Negeri 02 Singosari), sementara itu untuk mata pelajaran yang lain sudah sangat biasa nilai UN mendapatkan 100. Berdasarkan angket kebutuhan multimedia dalam pembelajaran IPA, dari sejumlah 45 siswa dikelas VII diambil secara acak dari tujuh kelas diperoleh; (1) tayangan animasi/simulasi IPA sebagai media pembantu pembelajaran masih minim yaitu diakui oleh 91 % siswa, (2) 96% siswa menginginkan media berbantuan komputer dipergunakan untuk pembelajaran IPA, (3) semua siswa (100%) berpendapat bahwa penggunaan multimedia dalam pembelajaran dapat membantu dalam memahami materi IPA, (4) 27% siswa menyatakan puas, sedangkan 73% siswa belum puas dengan pembelajaran IPA yang diterapkan hingga saat ini.

Sejumlah saran disampaikan siswa melalui angket pengembangan ini, 90% siswa mengharapkan agar pembelajaran IPA lebih sering menggunakan media interaktif (komputer), lebih menarik, membuat siswa lebih konsentrasi pada pembelajaran, 75 % siswa pernah mengakses simulasi IPA melalui internet. Hal ini juga sesuai dengan (Daulay, 2012) bahwa multimedia juga menyediakan peluang bagi pendidik untuk mengembangkan teknik pembelajaran sehingga dapat mencapai hasil maksimal.

Berdasarkan pemikiran dan pertimbangan permasalahan di atas, peneliti merasa perlu mengembangkan bahan ajar CAI (*Computer assisted Instruction*) IPA dengan pendekatan *Integrative learning* untuk meningkatkan hasil belajar. Paket Program dirancang dengan spesifikasi sebagai berikut; 1) Mencakup konsep-konsep pokok bahasan “perubahan benda-benda disekitar kita”, 2) Bahan ajar

dikemas dalam bentuk paket program komputer yang memuat animasi, teks, gambar, dan narasi serta disajikan secara interaktif (dalam bentuk CD), 3) Kegiatan belajar dikemas secara berurutan dari *slide* ke *slide*, 4) Paket program terdiri dari: referensi, animasi, video, latihan soal, proyek dan ulangan.

Sebagian besar sekolah telah memiliki perangkat komputer sehingga produk yang dihasilkan dapat terimplementasikan di sekolah. Sebagai contoh di SMP Negeri 2 Singosari memiliki laboratorium komputer sebanyak 25 unit. Disamping itu 50% guru IPA di SMP Negeri 2 Singosari telah terbiasa memanfaatkan komputer dalam proses pembelajaran.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*). Menurut Gay (1991) Penelitian Pengembangan adalah suatu usaha untuk mengembangkan suatu produk yang efektif untuk digunakan dalam pembelajaran di sekolah, dan bukan untuk menguji teori. Produk yang dikembangkan merupakan produk bahan ajar non cetak berbantuan komputer yang sering disebut CAI (*Computer Asisted Instruction*) adalah salah satu metode pengajaran yang digunakan untuk membantu mengajarkan materi secara interaktif dalam sebuah program tutorial dengan menggunakan suatu aplikasi komputer.

Model pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini mengikuti model Borg & Gall yang telah dimodifikasi oleh Sukmadinata (2010). Secara garis besar langkah penelitian dan pengembangan yang dikembangkan oleh Sukmadinata terdiri atas tiga tahap, yaitu: 1) Studi Pendahuluan, 2) Pengembangan Model, dan ke 3) Uji Model.

Produk divalidasi oleh 2 ahli materi dan 2 ahli media yaitu dosen Pendidikan Fisika UM dan Guru Fisika SMP Negeri Singosari yang berkompeten dalam pembelajaran berbasis komputer. Jenis data dalam penelitian berupa data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berdasarkan instrument kelayakan materi dan media bahan ajar yang dihasilkan, sedangkan data kualitatif berdasarkan saran dan masukan dari validator. Subjek uji kelayakan diberikan pada 9 siswa yang mengikuti pelajaran dengan topik perubahan benda disekitar kita. Data kualitatif dipergunakan untuk memperbaiki produk bahan ajar, sedangkan data kuantitatif untuk melihat kelayakan bahan ajar dan dampak dari bahan ajar yang telah dikembangkan.

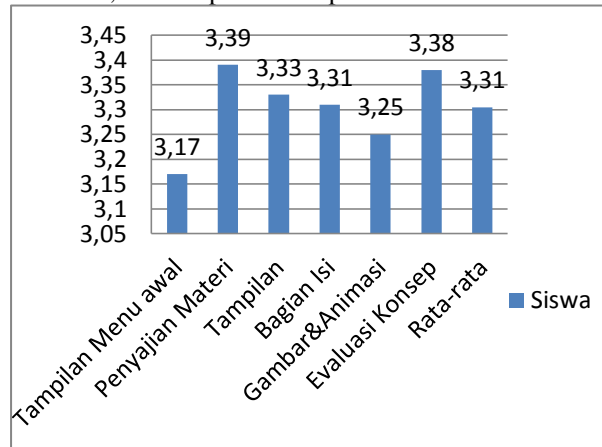
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Produk Pengembangan Bahan Ajar CAI

Hasil produk pengembangan bahan ajar CAI IPA diwakili sistem navigasi dan storyboard, dan CD (*Compact Disc*) yang berisi bahan ajar CAI IPA dengan materi perubahan benda- benda di sekitar kita.

2. Respon Siswa (Uji Coba Terbatas)

Hasil uji coba produk pengembangan bahan ajar CAI secara terbatas terhadap 9 orang siswa sebelum diuji cobakan secara luas menggunakan metode kuisioner, seperti pada Gambar 1

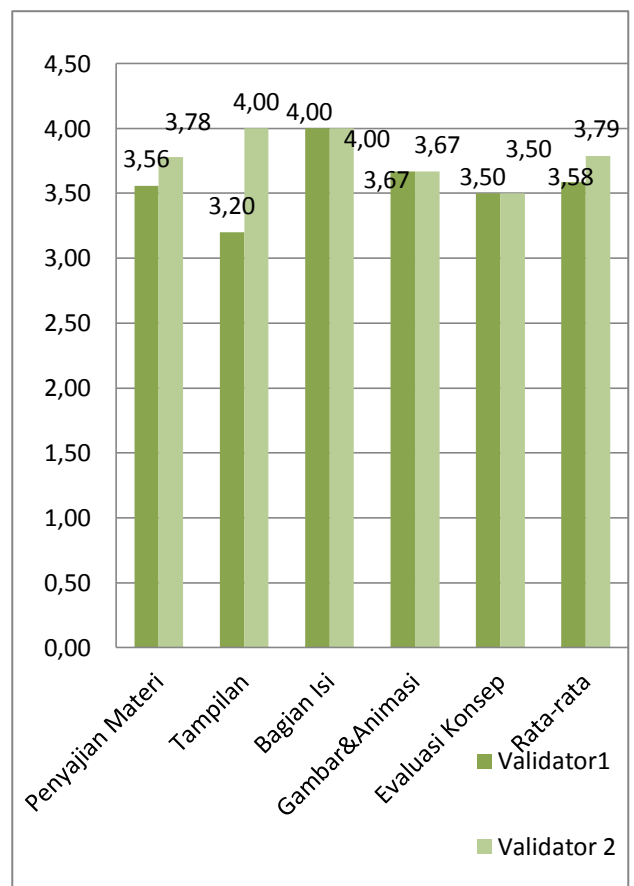


Gambar 1 Diagram Batang Respon Siswa terhadap Pengembangan Bahan Ajar CAI .

Nilai rata-rata untuk aspek tampilan menu awal 3,16, penyajian materi sebesar 3,39, untuk aspek tampilan 3,33, untuk aspek bagian isi 3,31, untuk aspek gambar dan animasi 3,25, dan untuk aspek evaluasi konsep 3,38. Secara komulatif respon siswa memberikan nilai rata-rata pada interval *Baik –Sangat Baik* untuk semua aspek dalam produk pengembangan bahan ajar CAI ini, sehingga menurut siswa bahan ajar ini layak digunakan.

3. Penilaian Ahli Materi

Hasil penilaian ahli materi terhadap produk pengembangan bahan ajar CAI melalui metode angket, seperti pada Gambar 2



Gambar 2. Diagram Batang Penilaian Ahli Materi terhadap Produk Pengembangan CAI

Nilai yang diperoleh dari validator seperti yang tertera di atas merupakan nilai rata-rata dari masing-masing aspek materi pembelajaran yang dikembangkan dalam pengembangan bahan ajar CAI. Penilaian dari kedua validator rata-rata sangat baik, yaitu validator 1 memberi nilai rata-rata 3,70 dan validator 2 memberi nilai rata-rata 3,92. Namun masih ada beberapa indikator yang mempunyai nilai tidak maksimal, sehingga disarankan untuk diperbaiki.

Paparan hasil penilaian Ahli Materi terhadap

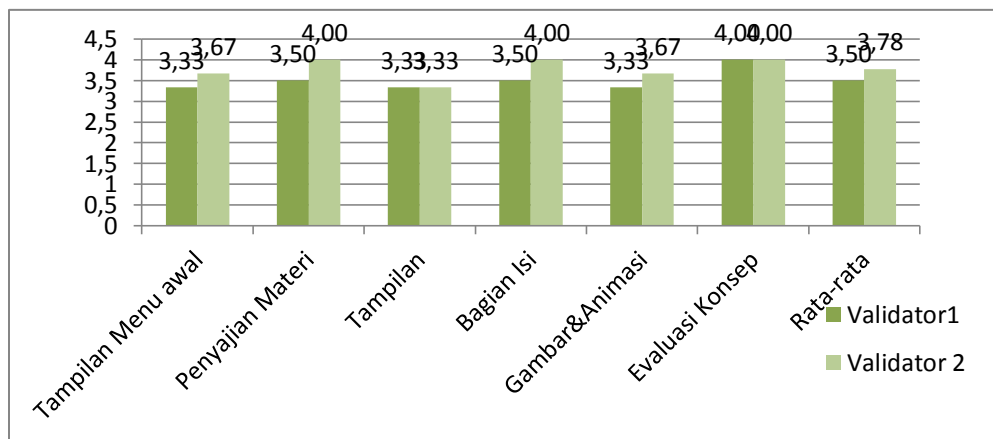


produk pengembangan bahan ajar CAI IPA melalui metode kuesioner diperoleh secara kontinum dapat dibuat kategori sebagai berikut.

Persentase 95.25 % termasuk dalam kategori interval “ Baik dan Sangat Baik”, sehingga secara komulatif dari sisi materi bahan ajar hasil produk pengembangan bahan ajar CAI dinyatakan sangat layak.

4. Penilaian Ahli Media

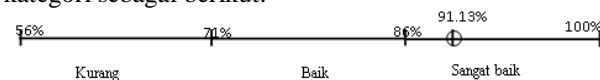
Hasil penilaian ahli media terhadap produk pengembangan bahan ajar CAI melalui metode angket, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Batang Penilaian Ahli Media terhadap Produk Pengembangan CAI

Nilai yang diperoleh dari validator seperti yang tertera di atas merupakan nilai rata-rata dari masing-masing aspek media yang dikembangkan dalam bahan ajar CAI IPA. Penilaian dari kedua validator rata-rata sangat baik, yaitu validator 1 memberi nilai rata-rata 3,54 dan validator 2 memberi nilai rata-rata 3,75. Namun masih ada beberapa indikator yang mempunyai nilai agak rendah.

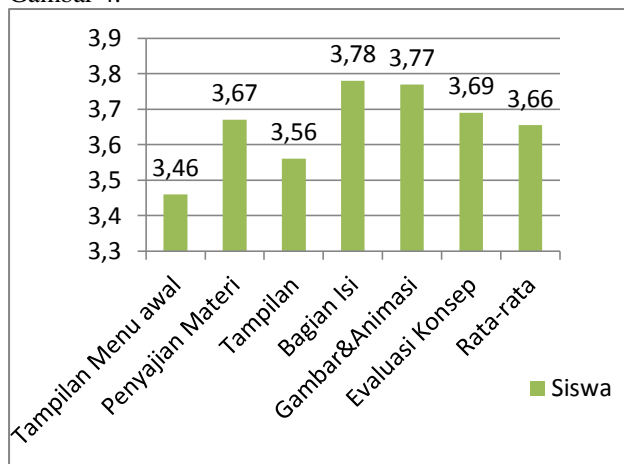
Hasil penilaian Ahli Media pada produk pengembangan bahan ajar CAI melalui metode kuesioner diperoleh secara kontinum dapat dibuat kategori sebagai berikut.



Persentase 91,13 % termasuk dalam kategori interval “ Baik dan Sangat Baik”, sehingga secara komulatif dari sisi media hasil produk pengembangan bahan ajar CAI dinyatakan sangat layak.

5. Respon Siswa (Uji Coba Lapangan)

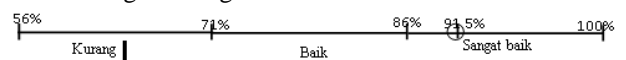
Hasil uji coba produk pengembangan bahan ajar CAI IPA pada kelas eksperimen terhadap 35 orang siswa menggunakan metode angket, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Batang Respon Siswa terhadap Produk Pengembangan CAI.

Secara komulatif respon siswa memberikan nilai rata-rata pada interval *Baik –Sangat Baik* untuk semua aspek dalam produk pengembangan bahan ajar CAI ini. Nilai rata-rata untuk aspek tampilan menu awal sebesar 3,46, penyajian materi sebesar 3,67, untuk aspek tampilan 3,56, untuk aspek bagian isi 3,78, untuk aspek gambar dan animasi 3,77, dan untuk aspek evaluasi konsep 3,66.

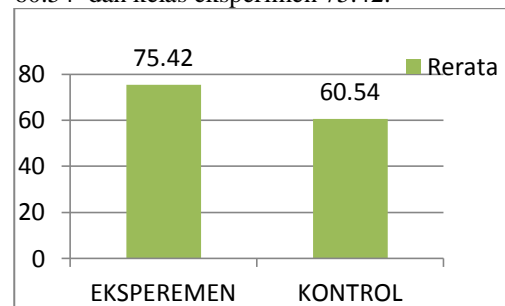
Paparan hasil penilaian kelompok uji coba terhadap produk pengembangan bahan Ajar CAI melalui metode kuesioner diperoleh secara kontinum dapat dibuat kategori sebagai berikut.



Persentase 88,2 % termasuk dalam kategori interval “ Baik dan Sangat Baik”, dengan demikian produk pengembangan ini dikatakan sangat layak untuk digunakan.

6. Hasil Uji Lapangan

Pengujian pengembangan bahan ajar CAI dilakukan melalui uji coba pada skala yang lebih luas yang melibatkan 77 siswa yang dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen sebanyak 35 siswa dan kelompok kontrol sebanyak 37 siswa. Perolehan skor rata-rata tes akhir pada kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat pada Gambar 5. Perolehan nilai rata-rata posttest pada kelas kontrol 60,54 dan kelas eksperimen 75,42.



Gambar 5 Diagram Batang Nilai Rata-Rata Posttest pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

7. Uji efektivitas

Untuk mengetahui efektivitas produk bahan ajar CAI IPA dalam meningkatkan prestasi belajar siswa dilakukan Uji t (t -test) dengan Polled Varians. Hasil Uji t yang dilakukan menggunakan SPSS versi 18 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji t Postes Kelas Kontrol dan Kelas Eksperimen

Data yang diuji	t_{hitung}	t_{tabel}
Kontrol-Eksperimen	5,794	1,99

Dengan membandingkan t_{hitung} pada taraf signifikansi 0,05 diperoleh $t_{hitung} 5.794 > t_{tabel} 1.99$, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan secara signifikan prestasi belajar siswa yang menggunakan bahan ajar CAI IPA dibandingkan dengan prestasi belajar siswa secara konvensional.

8. Effect Size

Untuk mengukur dampak dari pemanfaatan bahan ajar CAI IPA digunakan ukuran *Effect Size*. Menurut Cohen's ukuran dampak terbedakan menjadi 3, yaitu besar, sedang, dan kecil. Ukuran tersebut dilihat dari besarnya d , kemudian kita bandingkan dengan tabel cohen's. Berdasarkan perhitungan dengan memperhatikan rumus;

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s}$$

$$s = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$\text{Besarnya } d = \frac{75.43 - 60.54}{11.77} = 1.26$$

Dengan membandingkan harga d hitung dan harga d pada tabel *effect size*, maka dapat dikatakan bahwa dampak dari bahan ajar CAI cukup besar, karena lebih besar 1.

PEMBAHASAN

Penelitian pengembangan Bahan Ajar CAI (*Computer Assisted Instruction*) IPA dengan pendekatan *Integrative Learning*, dinyatakan layak sebagai bahan ajar IPA di SMP karena produk pengembangan ini sesuai dengan pola berfikir siswa SMP. Siswa dalam sistem ini sebagai pihak yang berusaha memahami materi yang disajikan. Oleh karena itu siswa adalah pihak aktif yang mencari pemahaman; dengan mengindra presentasi multimedia dan mencoba menata lalu memadukan materi-materi yang disajikan itu ke dalam representasi mental yang koheren (Mayer, 2009).

Bahan ajar CAI IPA yang digunakan pada penelitian ini diawali dengan contoh-contoh perubahan benda-benda, kemudian dilanjutkan dengan materi ajar disertai beberapa pertanyaan yang harus diisi oleh siswa untuk melanjutkan pada materi berikutnya. Sebelum siswa mengisi sejumlah pertanyaan, maka siswa tidak dapat melanjutkan pada materi berikutnya, sehingga disediakan waktu untuk melakukan diskusi materi dengan temannya untuk mengisi pertanyaan tersebut.

Strategi pembelajaran dengan memberikan materi, pertanyaan, contoh, latihan dan kuis agar siswa dapat menyelesaikan suatu masalah, tujuannya adalah membuat siswa memahami suatu konsep atau materi yang baku. Hal ini sesuai dengan pernyataan Budiarjo (1991), bahwa bahan ajar CAI dibedakan menjadi lima yaitu, tutorial, latihan dan praktek, pemecahan masalah, simulasi, dan permainan.

Beberapa penelitian antara lain; Supriyadi (1999), Husein (2003), Sudarma (2006), dan Walida (2011) menunjukkan bahwa penggunaan media berbantuan komputer dapat meningkatkan hasil belajar. Hal ini sejalan dengan hasil uji coba lapangan bahwa kelas eksperimen (yang menggunakan CAI) secara signifikan lebih dapat meningkatkan penguasaan konsep pemisahan benda-benda disekitar kita dibanding dengan kelas kontrol. Hal ini disebabkan karena pembelajaran dengan bahan ajar CAI IPA mempunyai kelebihan dibandingkan dengan jenis perangkat lunak lain untuk pembelajaran yang mengakomodasikan keragaman karakteristik siswa, terutama dalam hal kemampuan menjelaskan hal-hal yang bersifat abstrak dalam fisika dipadu dalam animasi, teks, dan narasi secara padat dan harmonis. (Yusuf, 2010; Mohammed, 2010).

Dalam pengembangan bahan ajar CAI IPA diungkap berbagai fenomena fisika sebagai bahan diskusi dan memberikan informasi kepada siswa sehingga memotivasi untuk memecahkan masalah secara individual. Tersedianya animasi yang menarik menuntun siswa untuk lebih mudah memahami proses sains sebagai salah satu kompetensi dalam pembelajaran sains selain produk sains.

Pada cover pembuka bahan ajar CAI IPA, di tayangkan *scene* dengan iringan musik lagu yang bersemangat sekaligus memperkenalkan lagu memiliki nilai historis bagi bangsa Indonesia. Diharapkan dapat membuka dan mengantarkan siswa belajar ke dalam situasi yang menyenangkan. Hal ini sesuai dengan karakteristik pembelajaran kontekstual yang selalu menjadi acuan dalam pembelajaran sains (Sofan, 2010). Pada setiap awal bahasan ditayangkan video tentang fenomena alam yang disesuaikan dengan topik yang akan dibahas. Hal ini merupakan salah satu ciri utama pembelajaran kontekstual yang selalu menghubungkan materi pembelajaran dengan kehidupan nyata.

Pada tayangan awal slide CAI ini diputar video tentang perubahan-perubahan yang terjadi di sekitar baik pada tumbuhan, hewan, dan manusia serta kejadian sehari-hari untuk memotivasi siswa. CAI mampu mengaktifkan dan menstimulasi metode

mengajar dengan baik, dan meningkatkan pengembangan pemahaman siswa terhadap materi yang disajikan, pada CAI ini indikator peningkatan pemahaman tampak pada hasil tes.

Dalam CAI ini terdapat umpan balik pada latihan soal, jika siswa menjawab soal dengan benar akan muncul tanda centang (\checkmark) dengan keterangan benar, jika siswa menjawab salah akan muncul tanda silang (X) dengan keterangan salah, dan jika siswa melakukan kesalahan dua kali akan muncul kunci jawaban. Siswa dapat melakukan evaluasi diri dengan kegiatan Ulangan Harian dan siswa dapat menentukan sendiri laju pembelajaran. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wena (1997) tentang keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan CAI.

Bahan ajar CAI dengan pendekatan integratif adalah tutorial yang dapat membimbing siswa untuk memahami konsep, menyelesaikan masalah dan menarik suatu kesimpulan secara mandiri. Vitr-vitr yang dilengkapi dengan animasi, video dan audio membuat media ini menarik bagi siswa. Pendekatan integratif dalam pembelajaran memiliki keunggulan dalam pengembangan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir (strategi kognitif) yang diperlukan dalam pemecahan masalah. Pada CAI ini siswa belajar secara mandiri dan kelajuan belajar ditentukan sendiri oleh siswa (Wenning, 2005). Pada CAI diterapkan pada latihan soal dan ulangan harian, disini siswa dituntut untuk memahami konsep dan kemudian digunakan untuk mengerjakan latihan dan ulangan harian.

Pada CAI ini guru dapat memberikan tugas berupa proyek /permasalahan dan siswa dapat mengerjakan /menjawab langsung atau mendiskusikan dengan kelompoknya untuk mendesain alat. Pada kegiatan tersebut (Sudjana, 2003) siswa melakukan langkah-langkah kegiatan yaitu, (a) Merumuskan masalah untuk dipecahkan oleh siswa, (b) Menetapkan jawaban sementara atau hipotesa, (c) Mencari informasi, data, dan fakta yang diperlukan untuk menjawab hipotesis atau permasalahan, (d) Menarik kesimpulan atau generalisasi, dan (e) Mengaplikasi kesimpulan.

Ada beberapa kekuatan dan kelemahan bahan ajar CAI IPA, antara lain:

Kekuatan; a) Bahan Ajar CAI IPA yang dikembangkan berdasarkan Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar yang terdapat pada silabus SMP, b) Bahan Ajar CAI IPA yang dikembangkan, memberi kesempatan kepada siswa untuk memecahkan masalah secara individual maupun kelompok, menyediakan presentasi yang menarik, mampu membangkitkan motivasi dalam belajar, meningkatkan pengembangan pemahaman siswa terhadap materi yang disajikan, memberi umpan balik secara langsung, siswa dapat menentukan sendiri laju pembelajaran, dan siswa dapat melakukan evaluasi diri, c) Bila dibanding dengan penggunaan media berbantuan komputer lainnya (seperti presentasi menggunakan Power Point pada kelas kontrol), bahan ajar CAI IPA lebih efektif dan efisien.

Dalam waktu yang sama, siswa akan belajar lebih cepat, menguasai materi lebih banyak dan mengingat lebih banyak dari apa yang sudah dipelajari. Sedangkan kelemahannya adalah; a) Membutuhkan waktu pengembangan yang lama, tidak dapat menilai proses belajar, jadi hanya menilai hasil akhir saja, dan tidak semua permasalahan siswa bisa diselesaikan dengan komputer, b) Diperlukan dukungan *software* dan *hardware* yang memadai untuk menghasilkan produk dengan kualitas baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan, hasil pengembangan bahan ajar dapat disimpulkan sebagai berikut; 1) pengembangan bahan ajar CAI IPA hanya pada bahasan perubahan benda disekitar kita. 2) untuk kelayakan materi dari pengembangan bahan ajar berdasarkan validasi yang dilakukan baik oleh ahli materi dan ahli media dapat dikatakan cukup layak untuk dipergunakan dalam proses pembelajaran di SMP. 3) terdapat perbedaan prestasi belajar siswa antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, dampak bahan ajar pada prestasi cukup besar karena nilai d lebih besar 1. 4) Kelebihan dari bahan ajar antara lain; disusun berdasarkan kurikulum 2013, beberapa contoh merupakan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari, ada sejumlah pertanyaan yang mendorong siswa untuk mengemukakan konsep berdasarkan apa yang diamati. 5) Kekurangan dari pengembangan bahan ajar CAI IPA adalah kegiatan praktikum tidak dapat dilakukan dalam *software*, dalam proses pembelajaran membutuhkan sejumlah komputer yang memiliki spesifikasi khusus untuk menjalankan program, untuk meningkatkan kemampuan dengan latihan jumlahnya terbatas. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dalam proses pembelajaran disediakan LCD, serta pendampingan guru dalam memperdalam pemahaman siswa dengan latihan soal yang lebih banyak, serta menyediakan komputer dengan spesifikasi khusus.

DAFTAR PUSTAKA

- Backer, K & Park. 2011. Effects of Integrative Approaches Among Science, Technology Engineering and Mathematics (STEM) Subjects on Students' Learning. A Preliminary Meta-Analysis. *Journal of STEM education* Vol 12.
- Budiarjo, B. 1991. *Komputer dan masyarakat*. Jakarta: Elexmedia Komputindo
- Calvin S. 2012. Evaluating The Quality of Work Integrated Learning Curricula A Comprehensive Framework. *Higher Education Research & Development* 31. 247-262
- Daulay, A.H. 2012. *Pengembangan Media pengajaran Mata Kuliah Pengetahuan Lingkungan Berbasis Multimedia*. Jurnal Suara Pendidikan, 30 (1): 55-59.

- Husein, M. 2003. *Pengembangan Paket Pembelajaran Dasar Listrik dan Elektro Model Walter Dick dan Low Carey pada SMK Muhammadiyah 1 Malang*. Tesis tidak diterbitkan. Malang: Program Pascasarjana UM.
- Kemendikbud, 2013. Kurikulum 2013. Kongres XXI PGRI, Kongres Guru Indonesia Tahun 2013.
- Mayer, R.E. 1999. *Designing instruction for constructivist learning*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mayer, R.E. 2009. *Multimedia Learning*. Terjemahan Utomo, W. 2009. Surabaya: ITS Press.
- Mohammed, A.A. Kanpolat.Y.E. 2010. Effectiveness of Computer Assisted Instruction on Enhancing the Classification Skill in Second Graders at Risk for Learning Disabilities. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*. 8(3), 1115-1130. Diakses tanggal 20 April 2012.
- Permendiknas RI No. 65 Tahun 2013 Tentang Standar Proses [online] tersedia di http://bsnp-indonesia.org/id/wp-content/uploads/proses/Permen_65_Tahun_2013.pdf
- Sofan, A. 2010. *Proses Pembelajaran Kreatif dan Inovatif dalam Kelas: Metode, Landasan Teoritis dan Penerapannya*. Jakarta: Prestasi Pustaka
- Sudarma, Komang. 2006. *Pengembangan Paket Pembelajaran dengan Model Walter Dick dan Carey Mata Kuliah Pengembangan Media Pendidikan II Program S1 Teknologi Pendidikan IKIP Negeri Singaraja*. Tesis tidak diterbitkan. Malang: Program Pascasarjana UM.
- Sudjana, N dan Rivai, A. 2003. *Teknologi Pengajaran*. Bandung, Sinar Baru Algensindo.
- Sukmadinata, N. S. 2010. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Remaja Rosdakarya
- Supriyadi. 1999. *Pengembangan Bahan Pembelajaran Mata Kuliah Perpustakaan Sekolah dengan Model Dick dan Carey*. Tesis tidak diterbitkan. Malang: Program Pascasarjana UM.
- Usman, B. dan Asnawir. 2002. *Media Pembelajaran*. Jakarta: Delia Citra Utama
- Vasile, C. 2011. Entry points, interests and attitudes. An integrative approach of Learning. *Sciencedirect Procedia Social and Behavioral Sciences*. (online). 11(2011) 903-907. (www.sciencedirect.com). Diakses 6 Maret 2013.
- Walida, S. E. 2011. *Pengembangan Bahan Ajar dalam Bentuk Multimedia Interaktif pada Mata Kuliah Teori Graph untuk Pembelajaran Matematika Berbasis Digital*. Tesis tidak diterbitkan. Malang: Program Pascasarjana UM.
- Wena, M. 1997. Keterkaitan antara Dunia Kerja dan Program Pendidikan Kejuruan: Suatu Tinjauan dari Aspek Sumber Belajar Pada Model Pendidikan Sistem Ganda. *Malang Jurnal Sumber belajar*. 34(7): 57-62. Diakses 21 September 2011.
- Wenning, J. C. 2005. Implementing inquiry-based instruction in the science classroom: A new model for solving the improvement-of-practice problem. Department of Physics, Illinois State University, Normal, IL 61790-4560. *Journal Physic Teacher Education*, (Online) 2(4) Diakses tanggal 21 Maret 2011.
- Yusuf, M.O. Afolabi, A.O. 2010. Effects of Computer Assisted Instruction (CAI) on Secondary School Students' Performance in Biology. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, volume 9 Issue 1: 64. Diakses tanggal 20 April 2012.

PENGARUH PEMBELAJARAN KOLABORATIF MURDER DAN MOTIVASI TERHADAP HASIL BELAJAR FISIKA PESERTA DIDIK SMA NEGERI 7 KOTA MAKASSAR

Yus'iran^{1*}, Sidin Ali², Abdul Samad²

¹STKIP TAMAN SISWA BIMA

²Pascasarjana Universitas Negeri Makassar

*Email : yus_bima@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen yang menggunakan desain faktorial 2x2 yang bertujuan untuk mengetahui: (1) Apakah terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan pembelajaran konvensional. (2) Apakah terdapat perbedaan hasil belajar fisika antara pembelajaran kolaboratif MURDER dan pembelajaran konvensional pada kelompok peserta didik yang memiliki motivasi belajar fisika tinggi. (3) Apakah terdapat perbedaan hasil belajar fisika antara pembelajaran kolaboratif MURDER dan pembelajaran konvensional pada kelompok peserta didik yang memiliki motivasi belajar fisika rendah. (4) Apakah terdapat interaksi antara pembelajaran (kolaboratif MURDER dan konvensional) dan motivasi belajar fisika terhadap hasil belajar peserta didik. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peserta didik kelas XI SMA Negeri 7 Makassar yang terdiri dari 5 kelas yang berjumlah 199 orang, dan yang menjadi sampel dalam penelitian ini adalah kelas XI IPA₁ dan kelas XI IPA₄ dengan jumlah peserta didik untuk masing-masing kelas berjumlah 37 orang. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan tes dan nontes. Teknik analisa data menggunakan teknik perhitungan manual dan dilengkapi dengan perhitungan menggunakan program SPSS versi 16. Pengujian hipotesis dilakukan pada taraf signifikansi 5 %. Hasil analisis inferensial menunjukkan bahwa (1) Terdapat perbedaan yang signifikan hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar dengan menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan yang diajar dengan menggunakan pembelajaran konvensional, (2) Tidak Terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang signifikan antara peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional untuk motivasi belajar tinggi, (3) Terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang signifikan antara peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional untuk motivasi rendah, dan (4) Tidak terdapat interaksi antara motivasi belajar dan pembelajaran terhadap hasil belajar fisika.

Kata Kunci: Kolaboratif MURDER, Konvensional, Motivasi Belajar, Hasil Belajar.

PENDAHULUAN

Pendidik sebagai suatu profesi untuk mempersyaratkan penguasaan ketrampilan dan kemampuan minimal menguasai materi ajar dan cara penyajiannya dalam hal model pembelajaran yang digunakan. Karena itu seorang pendidik yang profesional di dalam melaksanakan tugas mengajarnya harus mampu menerapkan berbagai model pembelajaran secara efektif dan efisien, selain itu Motivasi belajar fisika merupakan salah satu faktor yang menunjang keberhasilan peserta didik dalam pembelajaran Fisika. Mitchell (1997: 60-62) menyatakan bahwa “motivasi merupakan proses yang menjelaskan intensitas, arah, dan ketekunan seorang individu dalam mencapai tujuannya”.

Berdasarkan temuan peneliti di SMA Negeri 7 Kota Makassar pada kelas XI IPA tahun ajaran 2012/2013 bahwa selain penggunaan pemilihan model pembelajaran dan motivasi belajar peserta didik juga sangat mempengaruhi ketuntasan mereka memahami materi yang disampaikan sehingga hasil belajar fisika bagus.

I Wayan Kiyono Negara (2012) bercirikan diantaranya penggunaan pembelajaran kolaboratif MURDER menitik beratkan pada proses interaksi dalam proses pembelajaran dan penggunaan pembelajaran kolaboratif MURDER lebih efektif digunakan dalam meningkatkan hasil belajar peserta didik. Sedangkan peserta didik yang diajar dengan menggunakan model pembelajaran konvensional

kurang mengeksplor kemampuannya dan cenderung pasif dalam menggali dan menemukan konsep fisika yang dipelajari karena proses pembelajaran didominasi oleh guru dalam hal ini informasi materi maupun konsep-konsep fisika seluruhnya berasal dari pendidik.

Peneliti menjelaskan konsep Fisika yang abstrak dengan desain faktorial 2x2 pada materi teori kinetik gas dan termodinamika dalam melihat perbedaan dalam penggunaan pembelajaran dan motivasi terhadap hasil belajar fisika. Penelitian ini dilakukan untuk menjawab masalah-masalah berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar dengan pembelajaran kolaboratif MURDER dan pembelajaran konvensional pada peserta didik SMA Negeri 7 Makassar tahun ajaran 2012 / 2013?
2. Apakah terdapat perbedaan yang signifikan hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan konvensional untuk kelompok peserta didik yang memiliki motivasi belajar fisika tinggi SMA Negeri 7 Makassar tahun ajaran 2012 / 2013?
3. Apakah terdapat perbedaan yang signifikan hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan konvensional untuk kelompok peserta didik yang memiliki motivasi belajar fisika rendah SMA Negeri 7 Makassar tahun ajaran 2012 / 2013?
4. Apakah terdapat pengaruh interaksi antara pembelajaran (kolaboratif MURDER dan

konvensional) dan motivasi belajar fisika terhadap hasil belajar fisika peserta didik SMA Negeri 7 Makassar tahun ajaran 2012 / 2013?

TINJAUAN PUSTAKA

Pendekatan pembelajaran yang akan digunakan, termasuk di dalamnya tujuan-tujuan pembelajaran (kompetensi pembelajaran), dan pengelolaan kelas yang sesuai dengan kondisi peserta didik pada sekolah tersebut. Hal ini sejalan dengan pendapat Arend (1997) (dalam Trianto, 2009: 22) menyatakan "*The term teaching model refers to a particular approach to instruction that includes its goals, syntax, environment, and management system*". Artinya, model pembelajaran mengarah pada suatu pendekatan pembelajaran tertentu, termasuk tujuannya, syntax (langkah-langkah), lingkungannya, dan sistem pengelolaannya. Penggunaan pembelajaran yang tepat dapat mendorong tumbuhnya rasa senang peserta didik terhadap pelajaran, menumbuhkan dan meningkatkan motivasi dalam mengerjakan tugas, memberikan kemudahan bagi peserta didik untuk memahami pelajaran sehingga memungkinkan peserta didik mencapai hasil belajar yang lebih baik (Annurrahman, 2009: 40)

Kolaboratif MURDER

Pembelajaran *collaborative* dilandasi oleh perspektif-perspektif yang berbeda, yaitu: perspektif filosofis, psikologi kognitif, psikologi behavioristik, dan psikologi sosial oleh Yana, 2007 (dalam Wahyudin, 2012: 51). Salah satu pembelajaran yang dihasilkan dari perspektif psikologi kognitif adalah pembelajaran *collaborative murder*. Pembelajaran *collaborative MURDER* merupakan pembelajaran yang diadaptasi dari buku karya Bob Nelson —*The Complete Problem Solver* (Herdian, 2010). *MURDER* merupakan gabungan kata yang terdiri dari *Mood* (Suasana Hati), *Understanding* (Pemahaman), *Recall* (Pengulangan), *Detect* (Pendeteksian), *Elaborate* (Pengelaborasi), *Review* (Pelajari Kembali).

Pembelajaran Konvensional

Djamarah (2000: 157), pembelajaran konvensional adalah pembelajaran yang didominasi oleh metode ceramah yang diiringi dengan penjelasan dan pemberian tugas serta latihan soal. Pembelajaran ini digunakan sebagai alat komunikasi lisan antara pendidik dengan peserta didik dalam proses pembelajaran.

Motivasi Belajar

Setiap individu memiliki kondisi internal, dimana kondisi internal tersebut turut berperan dalam aktivitas dirinya sehari-hari. Salah satu dari kondisi internal tersebut adalah motivasi (Uno, H. 2012: 23). Motivasi merupakan daya penggerak yang telah menjadi aktif. Motif menjadi aktif pada saat-saat tertentu, terutama bila kebutuhan untuk mencapai tujuan sangat dirasakan atau mendesak. Menurut Mc. Donald, motivasi adalah perubahan energi dalam diri seseorang yang ditandai dengan munculnya "*feeling*"

dan didahului dengan tanggapan terhadap adanya tujuan (Sardiman, 2010: 83-84).

Hasil Belajar

Hasil belajar merupakan proses untuk menentukan nilai belajar peserta didik melalui kegiatan penilaian hasil belajar sehingga dapat dikatakan bahwa hasil belajar adalah prestasi yang dicapai oleh peserta didik setelah mengikuti kegiatan belajar. Sukmadinata (2003: 38), mengatakan bahwa hasil belajar merupakan realisasi pemekaran dari kecakapan atau kapasitas yang dimiliki seseorang. Menurut Syaiful Bahri Djamarah (2002: 60), hasil belajar adalah suatu perubahan tingkah laku sebagai hasil dari pengalaman individu dalam interaksi dengan lingkungannya yang menyangkut kognitif, psikomotor dan afektif.

Teori Kinetik Gas

Persamaan Gas Ideal Dan Tekanan Gas Ideal

$$P V = n R T = N K T$$

$$n = N/N_0$$

Sebagaimana telah diketahui bahwa gas terdiri dari partikel-partikel yang tersusun tidak teratur. Jarak antarpartikel relatif jauh sehingga gaya tarik antarpartikel sangat lemah. Partikel-partikel selalu bergerak dengan laju tinggi memenuhi tempatnya, sehingga pada saat terjadi tumbukan antarpartikel, gaya tarik tidak cukup kuat untuk menjaga partikel-partikelnya tetap dalam satu kesatuan. Teori kinetik muncul dengan anggapan bahwa partikel-partikel gas selalu bergerak terus-menerus. Teori kinetik zat membicarakan sifat zat dipandang dari sudut momentum. Peninjauan teori ini bukan pada kelakuan sebuah partikel, tetapi diutamakan pada *sifat zat secara keseluruhan sebagai hasil rata-rata kelakuan partikel-partikel zat tersebut*.

Sifat Gas Umum

1. Gas mudah berubah bentuk dan volumenya.
2. Gas dapat digolongkan sebagai fluida, hanya kerapatannya jauh lebih kecil.

Sifat Gas Ideal

1. Gas terdiri atas partikel-partikel dalam jumlah yang besar sekali, yang senantiasa bergerak dengan arah sembarang dan tersebar merata dalam ruang yang kecil.
2. Jarak antara partikel gas jauh lebih besar daripada ukuran partikel, sehingga ukuran partikel gas dapat diabaikan.
3. Tumbukan antara partikel-partikel gas dan antara partikel dengan dinding tempatnya adalah elastis sempurna.
4. Hukum-hukum Newton tentang gerak berlaku.

$$P V = n R T = N K T$$

$$n = N/N_0$$

Keterangan:

T = suhu (°K)

R = K . N₀ = 8,31) / mol . °K

N = jumlah partikel

$$P = (2N / 3V) \cdot E_k$$

$$T = 2E_k / 3K$$

Keterangan :

V = volume (m³)

n = jumlah molekul gas

K = konstanta Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$ J/°K

N_o = bilangan Avogadro = $6,023 \times 10^{23}$ /mol

Energi Total (U) Dan Kecepatan (V) Gas Ideal

$$E_k = 3 / 2 KT$$

$$U = N E_k = 3 / 2 NKT$$

dengan:

E_k = energi kinetik rata-rata tiap partikel gas ideal

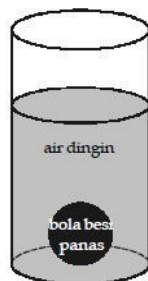
U = energi dalam gas ideal = energi total gas ideal

v = kecepatan rata-rata partikel gas ideal

m = massa satu mol gas

Termodinamika

Termodinamika adalah cabang ilmu Fisika yang membahas tentang hubungan antara panas (kalor) dan usaha yang dilakukan oleh kalor tersebut. Dalam melakukan pengamatan mengenai aliran energi antara panas dan usaha ini dikenal dua istilah, yaitu *sistem* dan *lingkungan*. Apakah yang dimaksud sistem dan lingkungan dalam termodinamika? Untuk memahami penggunaan kedua istilah tersebut dalam termodinamika, perhatikanlah **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Bola besi dan air merupakan sistem yang diamati. Adapun, udara luar merupakan lingkungannya.

Misalkan, Anda mengamati aliran kalor antara bola besi panas dan air dingin. Ketika bola besi tersebut dimasukkan ke dalam air. Bola besi dan air disebut sistem karena kedua benda tersebut menjadi objek pengamatan dan perhatian Anda. Adapun, wadah air dan udara luar disebut lingkungan karena berada di luar sistem, tetapi dapat memengaruhi sistem tersebut. Dalam pembahasan termodinamika, besaran yang digunakan adalah besaran makroskopis suatu sistem, yaitu tekanan, suhu, volume, entropi, kalor, usaha, dan energi dalam. Usaha yang dilakukan oleh sistem (gas) terhadap lingkungannya bergantung pada proses - proses dalam termodinamika, di antaranya proses isobarik, isokhorik, isothermal, dan adiabatik.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan desain faktorial, dengan satu variabel bebas yang terdiri atas dua dimensi, satu variabel moderator yang terdiri atas dua dimensi, dan satu variabel terikat. Ciri utama dari *true experiment* atau penelitian

eksperimen sesungguhnya adalah sampel yang digunakan untuk kelompok eksperimen maupun kontrol diambil secara acak dari populasi tertentu (Sugiyono, 2012: 112)

Desain penelitian

Desain dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.

R	X	Y ₁	O ₁
R	-	Y ₁	O ₂
R	X	Y ₂	O ₃
R	-	Y ₂	O ₄

Gambar 3.1 Desain Faktorial

Keterangan

R: Pemilihan kelas eksperimen dilakukan secara acak (Simple Random Sampling) untuk penentuan kelas yang akan diajar melalui kolaboratif MURDER dan konvensional

O₁, O₂, O₃, O₄: *Post test*

X : Merupakan perlakuan yaitu berupa pembelajaran fisika melalui pembelajaran kolaboratif MURDER.

- : Merupakan kontrol yaitu berupa pembelajaran fisika melalui pembelajaran konvensional.

Y₁: Peserta didik yang memiliki motivasi tinggi

Y₂: Peserta didik yang memiliki motivasi rendah

TABEL 1
Pola Faktorial 2 x 2

B	A	
	A1	A2
B1	YA1B1	YA2B1
B2	YA1B2	YA2B2
Total	YA1B1 + YA1B2	YA2B1 + YA2B2

A	= Perlakuan
A1	= Pembelajaran kolaboratif MURDER
A2	= Pembelajaran Konvensional
B	= Variabel moderator
B1	= Motivasi belajar fisika tinggi
B2	= Motivasi belajar fisika rendah
Y	= Hasil belajar fisika

Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah peserta didik kelas XI IPA 1 dan XI IPA 4 SMA Negeri 7 Kota Makassar berjumlah 74 peserta didik pada tahun ajaran 2012/2013.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Lembar validasi perangkat pembelajaran (RPP, LKPD, tes hasil belajar fisika), Kuesioner motivasi belajar, Tes hasil belajar.

Teknik Analisis data

Analisis Instrumen Penelitian (Butir soal)

- a. Indeks kesukaran/kemudahan soal
Indeks kesukaran ditentukan dengan rumus (Ali & Khaeruddin, 2012: 90):

$$P = \frac{P_h - P_l}{2} \quad (1)$$

dengan :

P : Indeks kesukaran

P_h : Proporsi peserta didik kelompok atas yang menjawab benar butir tes (perbandingan antara jumlah jawaban benar yang diberikan oleh kelompok atas dengan jumlah peserta didik kelompok atas)

P_l : Proporsi peserta didik kelompok bawah yang menjawab benar butir tes (perbandingan antara jumlah jawaban benar yang diberikan oleh kelompok bawah dengan jumlah peserta didik kelompok bawah)

TABEL 2

Kriteria Indeks Kesukaran/Kemudahan

Indeks Kesukaran	Kategori
$P \leq 0,30$	Sukar
$0,31 \leq P \leq 0,70$	Sedang
$0,71 \leq P$	Mudah

- b. Daya pembeda soal

Daya pembeda ditentukan dengan rumus (Ali & Khaeruddin, 2012: 92):

$$D = P_h - P_l \quad (2)$$

dengan :

D : Daya pembeda soal

P_h : Proporsi peserta didik kelompok atas yang menjawab benar butir tes (perbandingan antara jumlah jawaban benar yang diberikan oleh kelompok atas dengan jumlah peserta didik kelompok atas)

P_l : Proporsi peserta didik kelompok bawah yang menjawab benar butir tes (perbandingan antara jumlah jawaban benar yang diberikan oleh kelompok bawah dengan jumlah peserta didik kelompok bawah)

TABEL 3

Tafsiran Indeks Pembeda

Indeks daya pembeda	Kategori
$0,40 \leq D$	Sangat baik/soal diterima baik
$0,30 \leq D \leq 0,39$	Baik/soal diterima tetapi perlu diperbaiki
$0,20 < D \leq 0,29$	Cukup/soal diperbaiki
$D \leq 0,20$	Jelek/soal dibuang

- c. Korelasi poin biserial (Validitas soal)

Korelasi poin biserial ditentukan dengan rumus (Ali & Khaeruddin, 2012: 94):

$$r_{pbis} = \frac{\bar{X}_p - \bar{X}_t}{S_t} \sqrt{\frac{p}{q}} \quad (3)$$

dengan :

\bar{X}_p : Rata-rata skor dari subjek yang menjawab benar untuk butir soal yang akan dicari validitasnya

\bar{X}_t : Rata-rata skor total

S_t : Simpang baku skor total

p : Proporsi peserta didik yang menjawab benar pada butir soal yang dimaksud

$$P = \frac{\text{Banyaknya peserta didik yang menjawab benar}}{\text{Jumlah seluruh peserta didik}}$$

q : Proporsi peserta didik yang menjawab salah pada butir soal yang dimaksud

($q = 1 - p$)

- d. Reliabilitas tes

Reliabilitas tes dapat ditentukan dengan rumus (Arikunto, S, 2012: 115):

$$r_{11} = \left[\frac{n}{n-1} \right] \left[\frac{S^2 - \sum p \cdot q}{S^2} \right] \quad (4)$$

Dengan :

r_{11} : Reliabilitas tes secara keseluruhan

n : Banyaknya item

$\sum p \cdot q$: Jumlah hasil perkalian antara p dan q

p : Proporsi subyek yang menjawab item dengan benar

q : Proporsi subyek yang menjawab item dengan salah ($q = 1 - p$)

S : Standar deviasi dari tes

Kriteria pengujian: jika $r_{11} > 0,70$ maka tes dinyatakan reliabel/reliabilitas tinggi.

Analisis inferensial

1. Uji Prasyarat Analisis

a. Uji normalitas

b. Uji homogenitas

2. Pengujian hipotesis

Pengujian hipotesis dimaksudkan untuk mengetahui apakah hipotesis yang telah diajukan diterima atau ditolak. Untuk menguji hipotesis tersebut menggunakan analisis variansi (Anava) dua jalan sesuai dengan desain eksperimen yang digunakan Faktorial 2x2 dengan tujuan analisis variansi dua jalan dipergunakan untuk menguji signifikansi perbedaan efek baris, efek kolom, dan kombinasi antara efek baris dan efek kolom terhadap variabel terikat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

uji normalitas hasil belajar pada kelas yang diajar menggunakan model pembelajaran konvensional dan kelas yang diajar menggunakan kolaboratif MURDER tersebut menunjukkan bahwa Asymp. Sig Kolmogorof- Smirnov dan Asymp. Sig Shapiro-Wilk $\geq \alpha = 0,05$. Dari data tersebut kita bisa menyimpulkan bahwa hasil belajar fisika pada kelas yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional dan pada kelas yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER yang berasal dari populasi yang terdistribusi normal. Dengan demikian maka data hasil belajar fisika peserta didik kelas XI IPA 4 yang diajar dengan menggunakan pembelajaran konvensional dan data hasil belajar fisika kelas XI IPA 1 yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER normal maka dapat dilakukan uji selanjutnya yakni uji homogenitas. Hasil uji homogenitas *post test* peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran

konvensional dan peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER menunjukkan nilai Asymp sig dan Levene statistic lebih besar dari nilai alpha (α), dengan demikian dapat dikatakan bahwa kedua varian populasi adalah homogen.

1. Pengaruh Pembelajaran yang digunakan terhadap Hasil Belajar Fisika Peserta Didik

Hipotesis Pertama

Terdapat perbedaan yang signifikan terhadap hasil belajar fisika kelas XI IPA SMA Negeri 7 Makassar yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional dan kolaboratif MURDER.

Artinya untuk hipotesis pertama H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar dengan pembelajaran konvensional berbeda dengan hasil belajar peserta didik yang diajar dengan menggunakan kolaboratif MURDER. Hal ini terlihat dari hasil perhitungan ANAVA dua jalur dengan SPSS V.16 yang menunjukkan $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $51,937 > 4,11$ maka pada hipotesis pertama H_0 ditolak artinya ada perbedaan yang signifikan antara hasil belajar peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional dengan pembelajaran kolaboratif MURDER.

Peserta didik yang diajar dengan pembelajaran kolaboratif MURDER memperoleh hasil belajar fisika yang lebih tinggi dibandingkan dengan peserta didik yang diajar dengan pembelajaran konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pembelajaran kolaboratif MURDER pada peserta didik kelas eksperimen lebih mudah mereka pahami dan mereka lebih interaktif dalam proses pembelajaran dibandingkan dengan kelas yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional dimana peserta didik cenderung acuh dan mengerjakan yang lain bahkan tidak konsentrasi dalam proses pembelajaran. Pada pembelajaran kolaboratif MURDER setiap langkah-langkah pembelajaran peserta didik mampu untuk memproses informasi sehingga bisa membuat keputusan berdasarkan pemikiran dimana semua anggota dalam kelompok terlibat aktif dan saling mendukung dalam hal penyelesaian soal atau masalah yang ada. Sehingga setiap peserta didik memiliki peluang yang sama dalam memahami materi pelajaran sehingga ketercapaian hasil belajar maksimal.

Proses tersebut sejalan dengan pendapat (1) I Wayan Kiyo Negara (2012) bercirikan diantaranya penggunaan pembelajaran kolaboratif MURDER menitik beratkan pada proses interaksi dalam proses pembelajaran dan penggunaan pembelajaran kolaboratif MURDER lebih efektif digunakan dalam meningkatkan hasil belajar peserta didik. Sedangkan peserta didik yang diajar dengan menggunakan model pembelajaran konvensional kurang mengeksplor kemampuannya dan cenderung pasif dalam menggali dan menemukan konsep fisika yang dipelajari karena proses pembelajaran didominasi oleh guru dalam hal ini informasi materi maupun konsep-konsep fisika seluruhnya berasal dari guru. Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya, (2) Yana

(2007) menunjukkan bahwa pendekatan kolaborasi MURDER cukup efektif dalam meningkatkan aktifitas dan hasil belajar sosiologi di kelas XI IPS 1 SMA Negeri 2 Samarapura

2. Pengaruh Motivasi Belajar Terhadap Hasil Belajar Fisika Peserta Didik

Hipotesis kedua

Perbedaan yang signifikan terhadap hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar menggunakan menggunakan pembelajaran konvensional dan pembelajaran kolaboratif MURDER untuk motivasi tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil belajar fisika peserta didik yang diajar menggunakan konvensional dan kolaboratif MURDER untuk motivasi tinggi dengan uji lanjut ANAVA dengan metode Tukey yang menunjukkan $Beda\ Mean \leq Beda\ Kritis$ yaitu $1,8 > 3,86$ maka untuk hipotesis kedua H_0 diterima dan H_1 ditolak artinya tidak terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara peserta didik yang diajar menggunakan konvensional dan kolaboratif MURDER untuk motivasi belajar tinggi. Pada pelaksanaan pembelajaran dengan menggunakan kolaboratif MURDER semua peserta didik terlibat aktif dalam mencari dan mengkonstruksi pemahaman pada pembelajaran tersebut sementara peserta didik yang diajar menggunakan pembelajaran konvensional siswa pasif sehingga hasil belajar peserta didik untuk motivasi tinggi pada kelas yang diajar menggunakan pembelajaran kolaboratif MURDER dan pembelajaran konvensional memiliki perbedaan hasil belajar yang tidak signifikan.

Hipotesis ketiga

Perbedaan yang signifikan terhadap hasil belajar fisika antara peserta didik yang diajar menggunakan menggunakan pembelajaran konvensional dan pembelajaran kolaboratif MURDER untuk motivasi belajar rendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil belajar fisika peserta didik yang diajar menggunakan konvensional dan kolaboratif MURDER untuk motivasi tinggi dengan uji lanjut ANAVA dengan metode Tukey yang menunjukkan $Beda\ Mean > Beda\ Kritis$ yaitu $4,5 > 3,86$ maka untuk hipotesis kedua H_0 ditolak dan H_1 diterima artinya ada perbedaan yang signifikan antara hasil belajar peserta didik yang diajar menggunakan konvensional dan kolaboratif MURDER untuk motivasi belajar rendah. Dalam hal ini pendidik menggunakan model pembelajaran kolaboratif MURDER untuk motivasi rendah terlihat aktif dan memiliki kemauan belajar tinggi sebab model pembelajaran ini mengarahkan peserta didik lebih aktif dan memberikan peluang kepada semua peserta didik tanpa terkecuali berbeda halnya dengan kelas yang diajar menggunakan konvensional terlihat jelas peserta didik yang memiliki motivasi belajar rendah terlihat acuh dan cepat bosan serta tidak aktif.

3. Interaksi antara Model Pembelajaran dan Motivasi Belajar terhadap Hasil Belajar Fisika Peserta Didik

Hipotesis Keempat

Hasil penelitian ini menunjukkan tidak terjadi interaksi antara motivasi belajar dan model

pembelajaran. Hal ini terlihat dari hasil perhitungan ANAVA dua jalur dengan SPSS yang menunjukkan taraf signifikan lebih besar dari 0,05 yaitu $0,137 > 0,05$ maka untuk hipotesis keempat H_0 diterima dan H_1 ditolak artinya tidak terdapat interaksi antara motivasi belajar dan pembelajaran yang digunakan terhadap hasil belajar fisika.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang signifikan terhadap peserta didik yang diajar dengan pembelajaran kolaboratif MURDER dan peserta didik yang diajar dengan pembelajaran konvensional.
2. Tidak terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang signifikan terhadap peserta didik yang diajar dengan pembelajaran kolaboratif MURDER dan peserta didik yang diajar dengan pembelajaran konvensional terhadap motivasi belajar yang tinggi.
3. Terdapat perbedaan hasil belajar fisika yang signifikan terhadap peserta didik yang diajar dengan pembelajaran kolaboratif MURDER dan peserta didik yang diajar dengan pembelajaran konvensional terhadap motivasi belajar yang rendah.
4. Tidak terdapat interaksi antara pembelajaran (kolaboratif murder dan konvensional) dan motivasi terhadap hasil belajar fisika.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada istri dan anak tercinta, kedua orangtua, keluarga dan pembimbing yang senantiasa memberikan dukungan dan arahan sehingga tulisan ini bisa diselesaikan dengan berbagai macam kekurangan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Annurrahman, (2009). *Belajar dan pembelajaran*, Bandung : Alfabeta
- Ali, Sidin & Khaeruddin, 2012. *Evaluasi pembelajaran*, Makassar: Badan penerbit UNM
- Djamarah (2002). *Strategi Belajar Mengajar*. Jakarta: Rineka Cipta
- Djamarah, Bahri, S dan Zain, A. (2010). *Strategi Belajar Mengajar*. Jakarta: Rineka Cipta
- Herdian. (2010). *Model Pembelajaran Kolabotaf Murder*.
Onlinetersedia:<http://resibaratwaja.blogspot.com/feed/post/default> diakses 05-09-2012
- Mitchell, (1997). *Research in Organization Behavior*. Greenwich, CT: JAI Press
- Negara, KW dkk., *Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Murder Terhadap Hasil Belajar Ipa Siswa Kelas V Sd Di Gugus V Kecamatan Payangan*. 2012. Singaraja. Universitas Pendidikan Ganesa
- Sardiman (2010). *Interaksi Dan Motivasi Belajar*. Jakarta: Rajawali Press
- Sugiyono (2012). *Statistik dan Penelitian*. CV Alfabeta Bandung
- Sukmadinata, S. N. 2003. *Landasan Psikologi Proses Pendidikan*. Bandung: Remaja Rosdakarya
- Trianto (2009). *Model-model pembelajaran inovatif berorientasi konstruktivistik*. Jakarta: Prestasi Pustaka
- Uno, Hamzah (2012). *Teori Motivasi Dan Pengukurannya: Analisis Dibidang Pendidikan*. Jakarta: Bumi Karsa
- Wahyudin, iwan, (2012). *pengaruh pembelajaran colaboratif murder terhadap motivasi belajar dan pemahaman konsep ips*. UPI Bandung

F

BIDANG KAJIAN
FISIKA TEORI
DAN KOMPUTASI

PENERAPAN MARKOV CHAIN UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN HARIAN, STUDI KASUS KABUPATEN BULUKUMBA, SULAWESI SELATAN

Agussalim¹⁾, A.J. Patandean²⁾, Nasrul Ihsan²⁾

¹ Program Studi Fisika Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember

² Program Studi Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar

Email : agussalim12@mhs.physics.its.ac.id

Abstrak

Studi ini menyelidiki penerapan metode Markov Chain untuk memprediksi curah hujan harian Kabupaten Bulukumba. Berkaitan dengan Fisika lingkungan bagian atmosfer, penelitian ini bertujuan untuk menentukan peluang prediksi keadaan curah hujan harian Kabupaten Bulukumba Propinsi Sulawesi Selatan di semua periode bulan dalam setahun (Januari-Desember) berdasarkan parameter cuaca. Data yang digunakan berasal dari data curah hujan harian Kabupaten Bulukumba selama 13 tahun dari tahun 1998-2010 yang diperoleh dari Kantor Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar. Pendugaan curah hujan harian dengan metode Markov Chain menggunakan dua state yaitu membandingkan curah hujan hari tertentu dengan curah hujan satu hari sebelumnya. Pada saat kondisi steady state, peluang hasil prediksi yang diperoleh menunjukkan peluang terjadinya hujan lebih besar daripada cerah terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, Desember. Sedangkan peluang terjadinya cerah lebih besar daripada hujan hanya terjadi pada bulan Mei. Dalam penelitian ini dengan menggunakan bantuan software Matlab 7.10.0 (R2010a) didapatkan hasil prediksi peluang curah hujan pada metode Markov Chain dari hasil perkalian antara kondisi awal sistem (matriks peluang keadaan awal sistem yakni hujan dan cerah secara terpisah) dengan matriks peluang transisinya pada setiap bulan sampai tercapai kondisi steady state (peluang keadaan tetap). Perbandingan peluang prediksi keadaan curah hujan dengan data Observasi tahun 2010 dari bulan Januari sampai Desember, hasil prediksi secara garis besar sama dengan data observasi sehingga dapat disimpulkan bahwa metode ini menghasilkan prediksi yang cukup baik dengan proses waktu komputasi yang relatif singkat.

Kata kunci : Curah hujan, Markov Chain, Matriks Peluang Transisi, Steady State.

PENDAHULUAN

Secara garis besar wilayah Indonesia beriklim tropik yang berarti secara periodik mengalami musim kemarau dan musim hujan. Selain itu dari tinjauan yang berbeda pada dasarnya kondisi Indonesia berbentuk kepulauan, menyebabkan iklim di Indonesia menjadi iklim ekuator. Fenomena iklim tersebut terjadi di sebagian besar wilayah kepulauan Indonesia.

Khusus di Kabupaten Bulukumba, secara mikro iklim wilayahnya dipengaruhi oleh topografinya dan menganut pola hujan monsun. Prediksi mengenai keadaan curah hujan harian di Kabupaten Bulukumba sangatlah diperlukan mengingat di daerah tersebut banyak kalangan sangat membutuhkan informasi curah hujan. Diantaranya nelayan, pihak pelabuhan penyebrangan Bira yang menghubungkan antara akses Bulukumba dan Selayar.

Curah hujan memiliki fluktuasi cukup acak serta nilai yang beragam sepanjang waktu sehingga memenuhi syarat sebagai suatu proses stokastik. Proses stokastik merupakan suatu proses untuk menjelaskan hubungan dari sederetan kejadian-kejadian acak. Suatu bentuk khusus dari proses stokastik adalah proses Markov, yaitu proses stokastik dengan sifat bahwa perilaku probabilistik dari suatu proses masa akan datang hanya bergantung pada perilaku masa sekarang dan tidak dipengaruhi oleh masa lalu. Dari banyaknya fenomena yang terjadi dalam beberapa bidang ilmu, fenomena keadaan curah hujan dapat dipandang sebagai suatu proses Markov. Sejalan dengan hal tersebut maka dipilihlah metode Markov Chain untuk memprediksi curah hujan dalam jangka waktu yang ditentukan.

Penelitian mengenai prediksi curah hujan menggunakan metode Markov Chain telah dilakukan sebelumnya. (Jayawardene, 2002) melakukan peramalan terjadinya curah hujan di Sri Lanka dengan menggunakan metode Markov Chain. Selanjutnya (Prihantoro, 2009) melakukan studi kasus prediksi ramalan cuaca dengan menggunakan metode Markov Chain. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada wilayah Kabupaten Bulukumba dan sekitarnya diwakili oleh stasiun pencatat curah hujan harian. Data dasar yang digunakan adalah data curah hujan harian dalam rentang waktu 1998-2010 tercatat pada stasiun-stasiun klimatologi setempat.

Atas dasar latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah yang muncul dalam penelitian ini adalah,

1. Apakah metode Markov Chain dapat digunakan untuk memprediksi keadaan curah hujan di Kabupaten Bulukumba?
2. Bagaimanakah menentukan peluang prediksi keadaan curah hujan di Kabupaten Bulukumba dengan menggunakan metode Markov Chain?

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa metode Markov Chain dapat digunakan untuk memprediksi keadaan curah hujan di Kabupaten Bulukumba dan untuk mengetahui peluang prediksi keadaan curah hujan di Kabupaten Bulukumba.

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan pemikiran pada ilmu yang diteliti, terutama memberi manfaat :

1. Bagi peneliti, menarik perhatian khususnya penulis dan umumnya orang lain untuk melakukan penelitian selanjutnya pada daerah dan tahun penelitian yang berbeda.
2. Bagi masyarakat, Untuk masyarakat, sebagai informasi kepada masyarakat misalnya nelayan mengenai prediksi curah hujan harian yang ada di Kabupaten Bulukumba.
3. Bagi pemerintah, sebagai bahan informasi mengenai prediksi curah hujan harian.

METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah jenis penelitian terapan/aplikasi (*applied research*).

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Wilayah penelitian yang akan dikaji yaitu daerah Bulukumba yang terletak pada koordinat koordinat antara 5°20" sampai 5°40" Lintang Selatan dan 119°50" sampai 120°28" Bujur Timur. Penelitian ini dilaksanakan di Kantor Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV kota Makassar. Waktu pelaksanaan penelitian yaitu selama 2 bulan yakni (bulan Oktober sampai Desember 2013).

3. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder curah hujan Kabupaten Bulukumba tahun 1998-2010. Sumber data diperoleh dari Kantor Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Wilayah IV.

4. Tahapan Penelitian

Pada bagian prosedur tahapan penelitian terdiri dari bagian persiapan dan prosedur kerja.

a. Persiapan

Pada tahapan ini penulis mempelajari hasil-hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan permasalahan yang ada, jurnal-jurnal ataupun teori-teori yang berhubungan dengan penelitian. Mengkaji literatur untuk mengembangkan dan menyelesaikan permasalahan penelitian.

b. Prosedur Kerja

Pada bagian ini, dibagi dalam dua tahap, yaitu:

1. Kegiatan pengumpulan data, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan:
 - a) Mengumpulkan data curah hujan Kabupaten Bulukumba dari tahun 1998-2010 yang diperoleh dari Kantor Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar.
 - b) Memsortir data tersebut dalam tabel jumlah peluang harian per bulan (Januari-Desember) tahun 1998-2009.
2. Kegiatan pengolahan dan interpretasi data, berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan:
 - a) Mengolah data curah hujan yakni menghitung jumlah peluang curah hujan harian, didapatkan sebagai berikut:

TABEL 1
Jumlah Peluang Harian

State Awal	State Akhir

	0	1
0	0 ke 0	0 ke 1
1	1 ke 0	1 ke 1

Sehingga dapat diperoleh matriks peluang transisinya,

$$T = \begin{matrix} & \text{Keadaan Awal} & \begin{matrix} 0 \text{ (Cerah)} & 1 \text{ (Hujan)} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \text{ (Cerah)} \\ 1 \text{ (Hujan)} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1-\alpha & \alpha \\ \beta & 1-\beta \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Keterangan:

- 0 = Cerah, 1 = Hujan.
- Menggunakan dua state, 0 ke 0 (Cerah ke Cerah), 0 ke 1 (Cerah ke Hujan), 1 ke 0 (Hujan ke Cerah), 1 ke 1 (Hujan ke Hujan). Keadaan akhir ditentukan oleh keadaan sebelumnya.
- Dari keadaan awal terpisah cerah, yakni cerah (0) ke cerah (0) peluangnya bernilai $1-\alpha$, cerah (0) ke hujan (1) peluangnya bernilai α . Hal itu berarti peluang peralihan dari cerah ke cerah dan cerah ke hujan jumlahnya selalu bernilai 1.
- Selanjutnya untuk keadaan awal terpisah hujan, yakni hujan (1) ke cerah (0) peluangnya bernilai β , hujan (1) ke hujan (1) peluangnya bernilai $1-\beta$. Hal itu berarti peluang peralihan dari hujan ke cerah dan hujan ke hujan jumlahnya selalu bernilai 1.

b) Membuat tabel peluang prediksi curah hujan harian (peluang stasioner per bulan) yakni didapatkan dari perkalian antara kondisi awal sistem (matriks peluang keadaan awal sistem yakni hujan dan cerah secara terpisah) dengan matriks peluang transisinya menggunakan program Matlab 7.10.0 (R2010a), kemudian memperhatikan keadaan *Steady state* (peluang keadaan tetap). Dengan gambaran sebagai berikut:

- Secara terpisah bahwa keadaan awal hari 1, untuk keadaan awal hari 1 cerah maka peluangnya (1,0) dan untuk keadaan awal hari 1 hujan maka peluangnya adalah (0,1).
- Selanjutnya untuk peluang hari ke-2 didapatkan dari hasil perkalian matriks Hari 1 dengan T (matriks peluang transisinya),
- Peluang hari ke-3 didapatkan dari hasil perkalian matriks Hari ke-2 dengan T (matriks peluang transisinya), begitupun hari selanjutnya sampai hari terakhir dan didapatkan kondisi *steady state*.
- c) Membandingkan peluang hasil prediksi dengan data observasi curah hujan Kab. Bulukumba tahun 2010 sampai pada saat kondisi *Steady state* perbulan.
- d) Membuat grafik peluang stasioner per bulan dengan menggunakan program Matlab 7.10.0 (R2010a).
- e) Membuat kesimpulan dari hasil analisis per bulan.

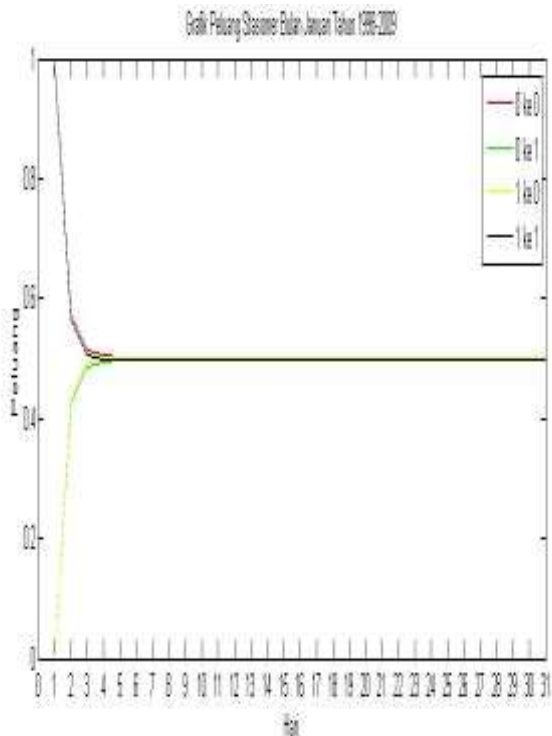
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian hasil penelitian meliputi keadaan curah hujan harian yang diprediksi per periode bulan, selanjutnya perbandingan data hasil prediksi dengan data observasi tahun 2010 sampai pada saat kondisi

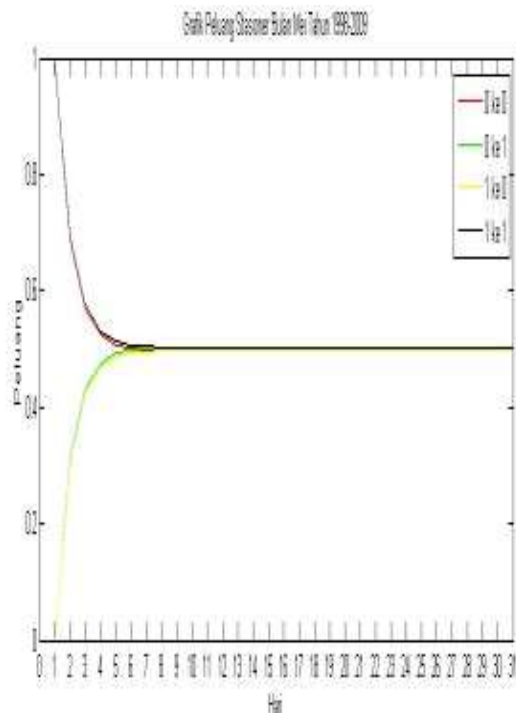


peluang keadaan tetap. Adapun hasil penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Keadaan curah hujan harian yang diprediksi,



Gambar 1. Grafik peluang stasioner bulan Januari tahun 1998-2009

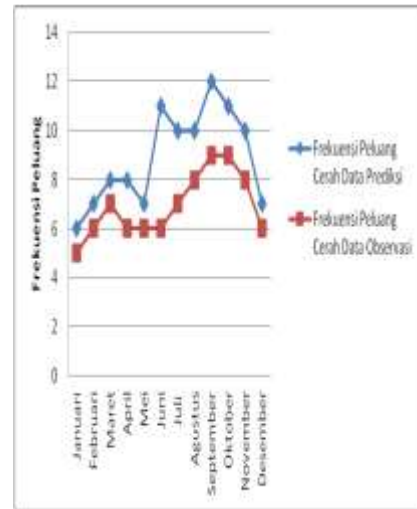


Gambar 2. Grafik peluang stasioner bulan Mei tahun 1998-2009

2. Perbandingan Peluang Curah Hujan Harian Hasil Prediksi dengan Data Observasi Lapangan Tahun 2010 sampai pada saat sebelum kondisi *Steady State*.

Untuk menguji tingkat akurasi dari hasil prediksi per bulan yang menggunakan peluang transisi selama 12 tahun (1998-2009), maka dilakukan perbandingan dengan data observasi keadaan curah

hujan harian Kab. Bulukumba pada tahun 2010. Dalam hal ini menghitung perbandingan frekuensi peluang cerah dan hujan pada saat sebelum kondisi *steady state*, sebagai berikut:



Gambar 3. Perbandingan frekuensi peluang hujan data prediksi dengan observasi (tahun 2010) sampai pada saat kondisi *steady state*

Keadaan curah hujan harian yang diprediksi untuk bulan Januari sampai Desember masing-masing pada hari ke- 9, 7, 8, 10, 15, 17, 12, 11, 12, 12, 10 ternyata kedua baris matriks pada masing-masing bulan adalah sama, hal ini dapat disebut sebagai keadaan *steady state*. Maksudnya peluang-peluang yang diperoleh dari masing-masing bulan tersebut tanpa memperhatikan lagi kondisi hari sebelumnya baik cerah ataupun hujan selanjutnya disebut sebagai peluang stasioner, yaitu peluang sistem pada saat berada dalam kondisi *steady state*. Dari kedua belas bulan dalam setahun yang diprediksi pada kondisi *steady statenya* terlihat jelas bahwa peluang terjadinya cerah daripada hujan jauh lebih besar selama 11 bulan, peluang terjadinya hujan lebih besar daripada cerah hanya terjadi pada periode bulan Mei.

Pada gambar. 1 dan 2 pada saat kondisi kondisi *steady state* yang tampak di grafik lebih cepat daripada tabel peluang stasioner disebabkan karena perbedaan peluang antara cerah dan hujan sangat tipis sampai lima angka di belakang koma hasil plot dari tabel dengan menggunakan program Matlab. Kondisi steady state terjadi rata-rata di bawah hari ke- 18 tidak ada kaitannya dengan fenomena alam tetapi hasil kerja komputasi. Semakin bagus datanya maka kondisi steady state akan semakin cepat terpenuhi.

Perbandingan peluang curah hujan harian hasil prediksi dengan data observasi lapangan tahun 2010 sampai pada saat kondisi *steady state*. Berdasarkan perbandingan tersebut, dari bulan Januari sampai Desember rata-rata prediksi bernilai salah pada hari ke-6 dan ke-7. Bulan Januari, Februari, Maret dan Desember metode rantai Markov hanya mengalami kesalahan prediksi hanya 1 hari. Selanjutnya bulan April, Mei, Juli, Agustus, September, Oktober, November mengalami kesalahan prediksi hanya 2 hari. Hasil prediksi yang bernilai salah lebih dari dua hari yaitu bulan Juni sebanyak 4 hari.

Bulan Januari, Februari, Mei, Juli dan September rata-rata bernilai salah pada hari ke-6, artinya metode rantai Markov dapat memprediksi lima hari bernilai benar secara berturut-turut untuk bulan tersebut. Bulan Maret, April, Juni, Agustus, Oktober, November dan Desember rata-rata bernilai salah pada hari ke-7, artinya metode Markov Chain dapat memprediksi enam hari bernilai benar secara berturut-turut untuk bulan tersebut.

Hasil studi sebelumnya (Jayawardene, 2002), peramalan cuaca khususnya curah hujan menggunakan metode Markov Chain yang dikembangkan dapat digunakan untuk meramalkan terjadinya hujan sifatnya jangka pendek tidak melebihi 7 hari secara berturut-turut. Hasil Prediksi dinyatakan sampai pada saat kondisi *steady state* (peluang keadaan tetap).

Hal yang menarik dari penelitian ini adalah terjadinya sedikit perbedaan hasil yang didapatkan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Jayawardene, 2002) rata-rata hasil prediksi bernilai salah pada hari ke-8, tetapi pada penelitian ini rata-rata bernilai salah pada hari ke-6 dan 7. Secara garis besar dapat diinterpretasikan metode Markov Chain hanya dapat digunakan untuk memprediksi keadaan curah hujan harian berturut-turut yang sifatnya jangka pendek.

Markov Chain mencoba mendeteksi peluang suatu kejadian dengan kejadian-kejadian sebelumnya sampai pada saat kondisi *steady state*. Setelah kondisi *steady state* prediksinya secara otomatis berhenti. Dari perbandingan peluang prediksi keadaan curah hujan dengan menggunakan metode di atas, dari bulan Januari sampai Desember dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi secara garis besar sama dengan data observasi.

KESIMPULAN

Metode Markov Chain dapat digunakan untuk memprediksi peluang keadaan curah hujan harian jangka pendek di Kabupaten Bulukumba yakni rata-rata sampai 5 atau 6 hari secara berturut-turut di setiap bulan. Dari hasil prediksi dengan memperhatikan data observasi didapatkan peluang terjadinya cerah lebih besar daripada hujan terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, November, Desember. Sedangkan peluang terjadinya hujan lebih besar daripada cerah hanya terjadi pada bulan Mei.

Dari perbandingan peluang prediksi keadaan curah hujan dengan data Observasi tahun 2010, dari bulan Januari sampai Desember dapat disimpulkan bahwa hasil prediksi secara garis besar sama dengan data observasi.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijelaskan di atas maka perlu dalam penelitian selanjutnya untuk menguji tingkat keakuratan hasil prediksi maka sebaiknya dilakukan di lokasi dan waktu yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan rasa terima kasih disampaikan penulis kepada segenap pihak yang telah membantu dalam proses penelitian sampai penulisan laporan ini. Semoga segala niat baik senantiasa bernilai ibadah di sisi Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayong, Tjasyono H.K.1999. *Klimatologi Umum*.ITB. Bandung
- Bernard W.Taylor III, 2001. *Sains Manajemen Pendekatan Matematika Untuk Bisnis*, Salemba.
- Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi kerjasama FMIPA IPB. 2001. *Pelatihan Pemodelan Matematika, Pengembangan dan Implementasinya dalam Komputer; Matematika dengan Mathematica*.Bogor
- Kismanto Prihantoro, 2010. *Markov Chain dalam menyelesaikan Prediksi Curah Hujan*. Jurnal Fisika (2010) Hal.5. Universitas Gunadarma. Depok.
- Nurmatias,2001. *Aplikasi Model Rantai Markov*. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- Prawirowardoyo, Susilo.1996. *Metereologi*. ITB. Bandung
- Sonnadara, DR Jayewardene. 2002 *Peramalan Terjadinya Curah hujan di Cuaca Terpilih Pada Stasiun di Zona Basah dan Kering Sri Lanka*. Sri Lanka Jurnal Fisika, Vol. 3 (2002) 39-52.
- Subarna, Dadang.2002. *Cuaca: Sistem Kompleks*.[http. www.kompas.com](http://www.kompas.com). Diakses tanggal 05 Agustus 2013.
- Wikipedia,2011.*Kabupaten Bulukumba*.[http. www.wiki pedia.org.Kabupaten Bulukumba](http://www.wikipedia.org/Kabupaten_Bulukumba). Diakses tanggal 05 Agustus 2013.
- Yasinta, 2008. *Analisa Rantai Markov*. Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.

PEMODELAN DAN SIMULASI BIOMEKANIKA *GAIT SYSTEM* MENGGUNAKAN *SOFTWARE SCILAB 5.5.0*

Akif Rahmatillah

Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga
Email : akif-r@fst.unair.ac.id

Abstrak

SCILAB adalah perangkat lunak open source yang digunakan untuk melakukan desain dan simulasi serta implementasi dari suatu pemodelan sistem fisis. Dengan demikian dapat juga digunakan untuk melakukan simulasi pemodelan untuk sistem fisiologi seperti sistem kontrol postur tubuh, sistem respirasi, mesin pembantu pernafasan dan lain – lain. Pada makalah ini dibahas penggunaan perangkat lunak *SCILAB* untuk mensimulasikan hasil pemodelan proses gaiting pada kaki manusia menggunakan fungsi transfer dari komponen kaki yaitu panggul, lutut dan pergelangan kaki. Fungsi transfer didapatkan dengan menerapkan konsep pemodelan dinamika berbasis konsep biomekanika dan diperiksa kestabilannya dengan simulasi. Khususnya pada bagian pergelangan kaki dilakukan simulasi kontrol PID agar untuk menstabilkan model yang didapatkan dengan nilai $K_p = 15$; $K_i = 15$ dan $K_d = 23$

Kata kunci : Letakkan kata kunci Anda di sini, kata kunci dipisahkan dengan koma.

PENDAHULUAN

Manusia adalah makhluk bipedal yang mengandalkan kaki sebagai penggerak utama tubuh. Kaki terdiri dari tiga komponen yaitu panggul (*hip*), lutut (*knee*) dan pergelangan kaki (*knee*). Agar mampu melakukan pergerakan dengan sempurna, ketiga komponen kaki harus bekerja secara terkoordinasi baik antar bagian kaki maupun antara kaki sebelah kanan dan kiri. Koordinasi antara srtiap komponen pada kaki sehingga menghasilkan gaya yang mampu menggerakkan tubuh disebut *gaiting*. Contoh dari *gaiting* seperti berjalan, berlari, melompat, merangkak dan sebagainya. Masing – masing gerakan membutuhkan berbagai orientasi awal, menghentikan gerakan, perubahan kecepatan dan pergantian arah (Charles, 2009).

Motivasi mengetahui proses *gaiting* adalah untuk mengungkap model matematis dari proses tersebut sehingga dapat dilakukan rekayasa pembuatan kaki palsu, sistem eksoskeleton hingga deteksi kelainan pada kaki. Pada bidang teknik biomedis isu ini menjadi hal yang sangat banyak diteliti. Tidak hanya untuk bidang kesehatan. Model matematis proses *gaiting* juga digunakan untuk melakukan desain sistem *biomimetics* seperti *huanoid robot* (Kim, 2007).

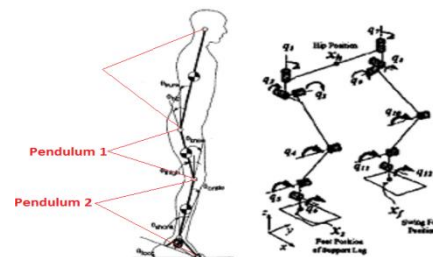
Pada penelitian ini penulis memfokuskan diri pada pemodelan matematis dinamik tiga komponen kaki yaitu panggul, lutut dan pergelangan kaki. Setelah model matematis didapatkan maka kemudian dilakukan simulasi komputer untuk mendapatkan parameter kestabilan dan respon frekuensi dari sistem yang dimodelkan. Penulis menggunakan *software SCILAB 5.5.0* untuk melakukan simulasi.

DASAR TEORI

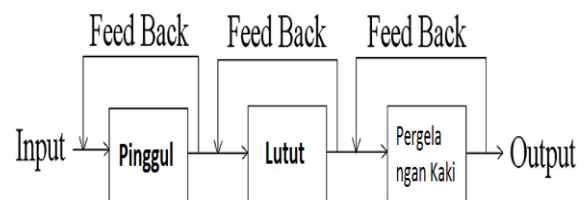
Teori Gait Process System

Pada sistem biomekanika struktur kaki dimodelkan seperti interkoneksi sistem pendulum. Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa pendulum pertama dimulai dari panggul hingga lutut dengan sudut berayun dari panggul akan menentukan perindahan lutut. Pendulum kedua menghubungkan lutut ke

pergelangan kaki dengan sudut berayun pada lutut menentukan posisi pergelangan kaki terhadap lantai. Pada satu kali *gaiting process* ada dua fasa yang terjadi secara berurutan yaitu fasa statically stable supported, yaitu keadaan dimana kedua pergelangan kaki menjejak dan fasa statically unstable supported, yaitu saat hanya ada satu pergelangan kaki menjejak ketanah dan yang lain sedang berayun. Dalam satu kali siklus berjalan, (*gait cycle*) terdapat satu kali untuk tiap fasa.



Gambar. 1 Sistem Kaki pada Tubuh Manusia
Untuk mendapatkan model matematis dinamik dari *gaiting process*, dengan demikian harus didapatkan model matematis dinamik dari panggul, lutut dan pergelangan kaki secara bersamaan.



Gambar 2. Block Diagram *Gaiting Process*

Gambar 2 menjelaskan *logic model* dari *gaiting process*. Panggul akan menerima sinyal input dari sistem syaraf pusat (SSP) tergantung pada jenis tindakan yang dilakukan. Saat panggul menerima sinyal maka akan mempengaruhi posisi dari lutut dan juga akan mempengaruhi posisi pergelangan kaki. Komunikasi antara tiga komponen ini ditentukan oleh adanya *feedback* sistem pada tiap komponen. Pada pemodelan seperti ini digunakan beberapa asumsi. *Gaiting process* hanya melibatkan bagian *lower limb*.

Pergerakan hanya melibatkan koordinasi panggul, lutut dan pergelangan kaki. Kaki hanya memikul massa tubuh manusia dengan tidak ada gaya dari luar. Lengan tidak terlibat dalam pergerakan serta gerakan diasumsikan dua dimensi

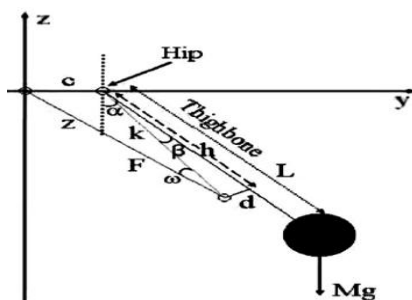
SCILAB 5.5.0

SCILAB adalah paket komputasi numerik yang dikembangkan sejak 1990 oleh para peneliti dari INRIA dan ENPC Prancis, tepatnya sejak pendirian konsorsium SCILAB pada Mei 2003. Scilab adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi, sebagian besar kegunaannya didasarkan pada seputar kemampuan menspesifikasi banyak komputasi dengan sedikit baris kode. SCILAB melakukan hal ini dengan mengabstraksi tipe data primitif kepada matriks ekuivalen menurut fungsinya.

SCILAB memiliki kesamaan fungsionalitas dengan MATLAB, tetapi tersedia untuk diunduh tanpa biaya lisensi. Program ini memungkinkan pengguna untuk melakukan komputasi pada cakupan luas operasi-operasi matematika dari operasi yang relatif sederhana seperti perkalian hingga kepada operasi tingkat tinggi seperti korelasi dan aritmetik kompleks. Perangkat ini sering dipakai untuk pemrosesan sinyal, Pemodelan Fisik, Sistem Kontrol, analisis statistika, perbaikan gambar, simulasi dinamika fluida, dan lain-lain. Scilab telah digunakan secara luas di beberapa industri dan proyek penelitian, dan banyak kontribusi telah dibuat oleh para pengguna. Pada penelitian ini digunakan Computer Aided Control System Design (CACSD) toolbox untuk membentuk simulasi dari model matematis.

PEMODELAN & SIMULASI PANGGUL

Tidak banyak model mekanika yang digunakan untuk memodelkan bagian panggul. Pada penelitian ini digunakan model seperti pada Gambar 3.



Gambar. 3 Model Mekanika untuk Panggul

Bagian panggul dimodelkan sebagai *inverted pendulum* dengan tulang paha sebagai pendulum dan otot sebagai aktuator. Hubungan analitik pada gaya – gaya yang bekerja pada pendulum didapatkan dari gaya aktuator dan torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan tulang paha dengan acuan titik pada panggul. Pada model, segmen k adalah lengan pendulum yang merupakan lengan torsi pada sendi panggul. Sedangkan Mg adalah gaya reaksi akibat adanya gravitasi dengan M adalah massa kaki dan g percepatan gravitasi. Panjang tulang paha adalah L dengan asumsi bahwa L adalah 0,7 dari panjang total.

Sudut ω adalah sudut yang dibentuk dari lengan dengan arah aktuator dan diasumsikan sekitar 0,176 radian.

$$P(s) = \frac{\alpha(s)}{U(s)} = \frac{MgL}{k \sin(\omega)} \left(\frac{s}{s^2 + 1} \right) \quad (1)$$

Dengan $L = 0,48$ m; $M = 25,2$ kg; $g = 9,8$ m/s²; $k = 33,6$ cm; α adalah parameter output; u adalah parameter input dan $\omega = 0,176$ rad. Kemudian dengan mensubstitusikan nilai – nilai tiap paramter ke (1) maka didapatkan fungsi transfer yaitu

$$P(s) = \frac{105,134s}{0,058s^2 + 0,058} \quad (2)$$

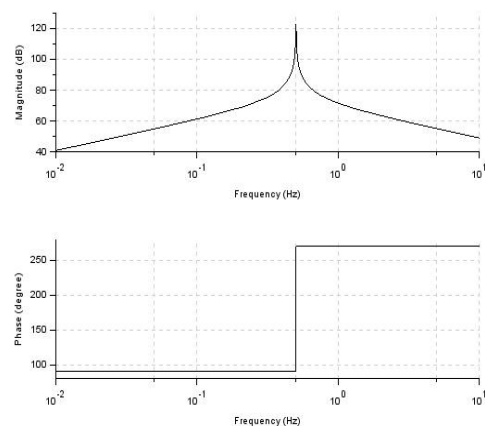
Untuk mesimulasikan model pada SCILAB 5.5.0, maka dituliskan program sebagai berikut,

```
5 s=poly(0,'s');
6 hip = polyval('c',105.134*s/(0.00588*s^2+0.0588));
7 figure(1)
8 bode(hip,-0.01,10);
9 figure(2)
10 nyquist(hip);
11 figure(3)
12 evans(hip,200)
13 grid()
```

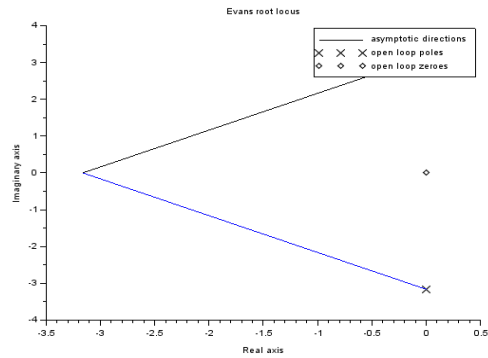
Hasil simulasi yaitu berupa diagram bode yang menunjukkan respon frekuensi dari model dan grafik root locus dari panggul yang menunjukkan kestabilan sistem ditunjukkan oleh Gambar 4 dan 5.

PEMODELAN & SIMULASI LUTUT

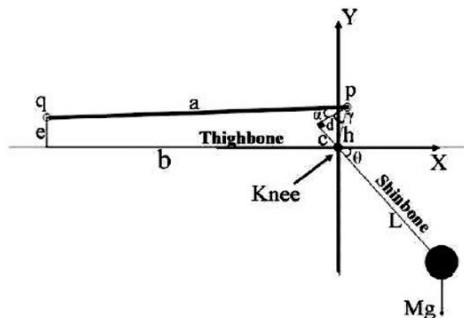
Pada pemodelan lutut, tendon dapat dimodelkan sebagai hubungan pegas damper torsional dengan inersia J , konstanta pegas K dan konstanta damper B (Gambar 6). Ilmuan mencoba mengestimasi nilai paramater tadi dengan data eksperimen. Pada saat tendon aktif, sinyal dikirimkan melalui jaringan syaraf menuju *spinal cord*. Jaringan syaraf kemudian mengirimkan sinyal balik kepada tendon untuk memproduksi gerakan refleks. Reseptor yang berada pada otot disebut *spindle* yang mempunyai dinamika sendiri dan ditunjukkan dengan fungsi transfer pada bagian *feedback*. Spindle dimodelkan sebagai hubungan pegas (K_{pe}) dan damper (B_{pe}) yang terpasang paralel, kemudian keduanya terpasang seri dengan pegas lain (K_{se})



Gambar. 4 Bode Diagram Model Panggul

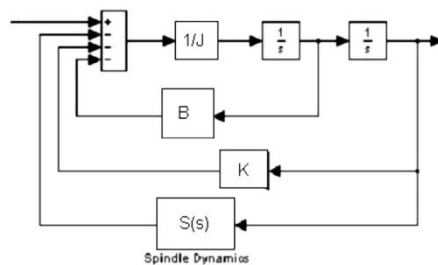


Gambar. 5 Grafik Root Locus Model Panggul



Gambar. 6 Model Mekanika Lutut

Gambar 7 menjelaskan bagaimana pemodelan mekanika lutut dengan berbagai parameternya yaitu



Gambar. 7 Blok Diagram Model Lutut

$$S(s) = \frac{1}{K_{se}(B_{pe}s + K_{pe})} \quad (3)$$

Karena sistem feedback adalah

$$G(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Maka didapatkan bahwa

$$G_1(s) = \frac{1}{Js + B} \quad (4)$$

$$G_2(s) = \frac{1}{Js^2 + Bs + K} \quad (5)$$

Dengan menyusun (5) sebagai komponen forward dan (3) adalah komponen backward dan diberikan nilai dari parameter yaitu $B = 2,4382$; $J = 0,19033$; $K = 42,361$; $K_{pe} = 4,7627$; $B_{pe} = 0,96703$ dan $K_{se} = 0,10774$ maka didapatkan fungsi transfer sebagai berikut

$$L(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{0,104s + 0,513}{1,002s^3 + 1,0378s^2 + 1,61s + 3,34} \quad (6)$$

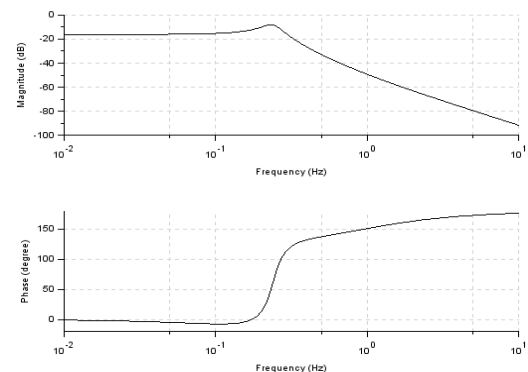
Untuk memsimulasikan model pada SCILAB 5.5.0, maka dituliskan program sebagai berikut,

```
7 tfknee = syslin('c', (0.104188*s+0.513133)/...
8 (1.00214*s^3+1.03789*s^2+1.61031*s+3.34193)) ;
9 figure (1)
10 bode(tfknee, -0.01, 10)
11 figure(2)
12 nyquist(tfknee)
13 figure(3)
14 evans(tfknee, 200)
15 sgrid()
```

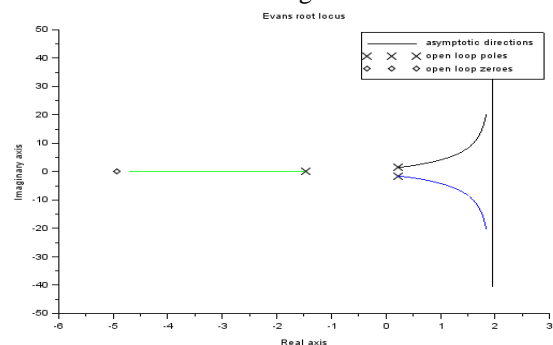
lalu hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.

PEMODELAN & SIMULASI PERGELANGAN KAKI

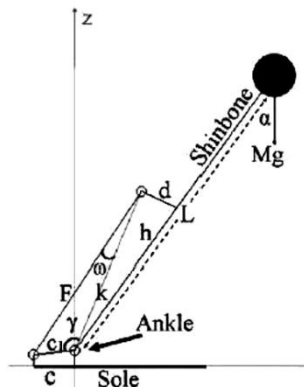
Komponen pergelangan kaki secara biomekanik bertanggung jawab dalam menjaga keseimbangan tubuh. Pada saat berdiri pada bagian sagital, pergelangan kaki juga dimodelkan seperti inverted pendulum yang sudah distabilkan. Berbagai sensor digunakan untuk menstabilkan postur tubuh dengan aktuasi dari pergelangan kaki agar tubuh dalam postur yang normal. Model ini ditunjukkan pada Gambar 10. Meskipun perubahan sudut pendulum kecil namun interaksi antara inersia, viskositas otot dan elastisitas otot harus dideskripsikan dalam sistem orde dua.



Gambar. 8 Bode Diagram Model Lutut

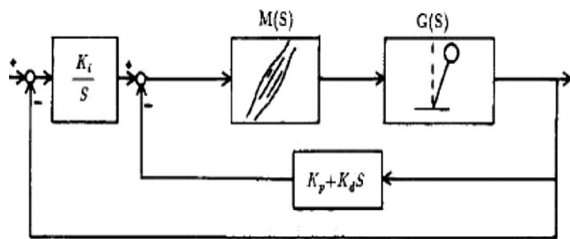


Gambar. 9 Grafik Root Locus Model Lutut



Gambar. 10 Model Mekanika Pergelangan Kaki

Adanya reaksi otot alami untuk melakukan penstabilan pada saat berdiri membuat seakan – akan model pergelangan kaki mempunyai sistem kontrol yang alami. Pada penelitian ini reaksi kontrol alami tersebut dimodelkan seperti kontrol PID dengan $K_p = 15$; $K_i = 15$ dan $K_d = 23$. Dengan demikian blok diagram model pergelangan kaki dapat dilihat seperti pada Gambar 11. Kontrol PID diaplikasikan pada $M(s)$ yaitu model otot dan juga $G(s)$ yaitu model *inverted pendulum*



Gambar. 11 Blok Diagram Model Pergelangan Kaki
Fungsi transfer $G(s)$ yang menunjukkan model inverted pendulum atau bisa dikatakan kekakuan dari pergelangan kaki dimodelkan sebagai

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{T_A(s)} = \frac{1}{Js^2 + Bs + \left(K - \frac{mgl}{2}\right)} \quad (7)$$

dengan $\theta(s)$ = sudut sendi pergelangan kaki; $T(s)$ = torsi pada sendi pergelangan kaki; J = momen inersia sendi pergelangan kaki ($0,008 \text{ Nms}^2/\text{rad}$); B = parameter momen dumper sendi pergelangan kaki ($10 \text{ Nms}/\text{rad}$); K = parameter momen pegas sendi pergelangan kaki ($240 \text{ Nm}/\text{rad}$); m = massa tubuh (80 kg); tinggi tubuh ($1,7 \text{ m}$).

Model otot dimodelkan sebagai

$$M(s) = \frac{K_m e^{-Ds}}{1 + \tau s} \quad (8)$$

dengan K_m = gain dari otot ($31 \text{ Nm}/\text{rad}$); τ = time constant dari otot ($0,1 \text{ s}$ untuk $f = 10 \text{ Hz}$) dan D = dead time dari otot ($350 \mu\text{s}$).

Kemudian fungsi transfer akhir didapatkan dengan menggabungkan $G(s)$ dan $M(s)$ dengan fungsi kontrol PID seperti yang ditunjukkan pada gambar 11. Jika didefinisikan bahwa fungsi transfer akhir model

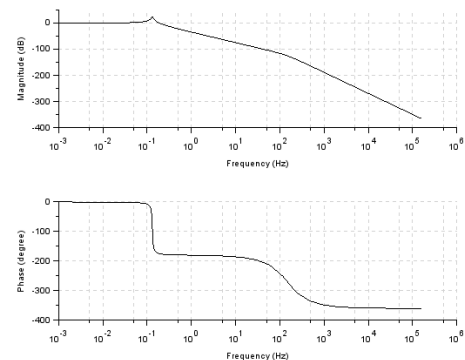
pergelangan kaki adalah $G_x(s)$ maka ditunjukkan seperti pada (9)

$$G_x = \frac{K_i}{\left(Js^2 + Bs + K - \frac{mgl}{s}\right) \left(\frac{1 + \tau s}{K_m e^{-Ds}}\right) s + (K_p s + K_d s^2) + K_i} \quad (9)$$

Dengan menuliskan program sebagai berikut,

```
7 tfpidankle = sylvan('c',15,...
8 (0.0000258*s^4+0.0325161*s^3+21.9471*s^2+1.24516*s+15)) ;
9 figure(1)
10 bode(tfpidankle, -0.001, -160000)
11 figure(2)
12 nyquist(tfpidankle)
13 figure(3)
14 evans(tfpidankle,200)
15 grid()
```

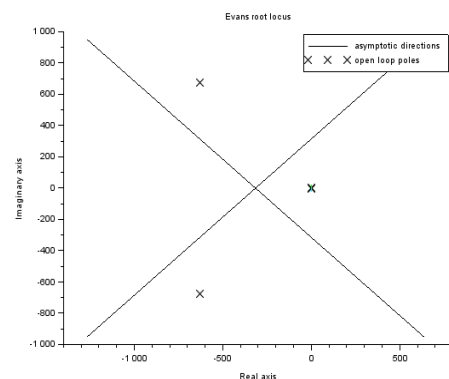
maka didapatkan hasil simulasi pemodelan sistem pergelangan kaki seperti pada gambar 12 dan 13.



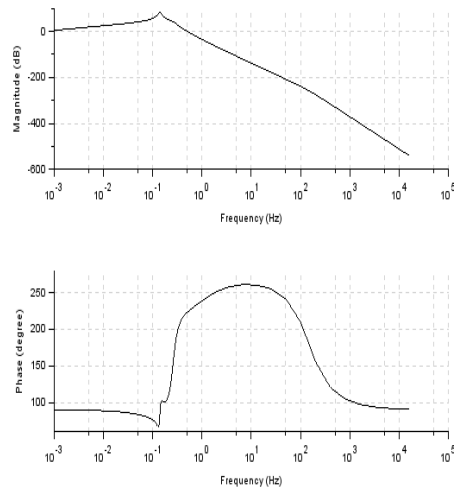
Gambar. 12 Bode Diagram Model Pergelangan Kaki

MODEL MATEMATIS MEKANIKA KAKI

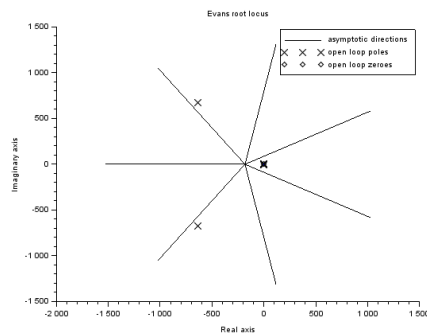
Untuk mendapatkan model keseluruhan dari kaki, didapatkan dengan menggabungkan seluruh fungsi transfer dari ketiga komponen yang sebelumnya telah dibahas. Hasil simulasi dari penggabungan ketiga model ini dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15



Gambar. 13 Grafik Root Locus Model Pergelangan Kaki



Gambar. 14 Bode Diagram Model Mekanika Kaki



Gambar. 15 Grafik Root Locus Model Mekanika Kaki

ANALISIS DAN KESIMPULAN

Jika dilihat dari kestabilan sistem (Gambar 5, 9, 13 dan 15), maka pemodelan dinamika untuk tiap komponennya menjelaskan bahwa tiap – tiap sistem komponen berada pada keadaan marginally stable, yaitu ada pole yang berada pada sumbu imajiner dari root locus. Namun karena pergerakan kaki dikordinasi oleh sistem syaraf, maka sistem syaraf akan bekerja seperti sistem kontrol yang akan mendorong pole yang ada kemungkinan tidak stabil (marginally stable) dan hal ini dimungkinkan. Berbeda halnya jika ada pole yang tidak stabil atau dikanan sumbu imajiner maka model matematis dicurigai keliru dikarenakan akan sangat

sulit bagi sistem syaraf untuk menkoordinasi sistem yang tidak stabil.

SCILAB 5.5.0 secara umum dapat digunakan untuk melakukan simulasi dari fungsi transfer atas fenomena fisis tertentu. Namun mempunyai kelemahan dari sisi hanya pola fungsi transfer tertentu saja yang dapat digambarkan grafik root locus secara sempurna. Pada Gambar 5, 13 dan 15 SCILAB 5.5.0 hanya menggambarkan posisi pole dan zero serta arah asimtot dari pergerakan root locus namun tidak bisa menggambarkan root locus sendiri.

Dengan demikian ada 3 kesimpulan yang bisa diambil yaitu:

- Model matematis dinamik untuk menjelaskan gait process dapat dilakukan dan dibuktikan dengan model matematis yang dihasilkan relatif stabil.
- Kontrol PID mampu menstabilkan model matematis pergelangan kaki dengan parameter $K_p = 15$; $K_i = 15$ dan $K_d = 23$
- Software SCILAB 5.5.0 mampu digunakan untuk menggambarkan reson frekuensi dari sistem fisis.
- Software SCILAB 5.5.0 belum mampu menggambarkan grafik root locus secara sempurna untuk beberapa keadaan fungsi transfer

DAFTAR PUSTAKA

- L. Charles. (2009), *Basic Feedback Control in Biomedicine*, Morgan & Claypool
- J-Y. Kim, I-W. Park, , J-H. Oh, (2007), *Experimental Realization of Dynamic Walking of The Biped*, J. Advance Robotics., Vol. 20, 707 - 736.
- G. Muscato, G. Spampinato, (2008), *Kinematical Model and Control of Architecture Human Inspired 5-DOF Robot Leg*, Mechatronics., Vol. 17, 45 – 63.
- J. Rose dan J. Gamble (2006), *Human Walking*, 3 rd ed., Lippincot Wiliams and Wilkins

SOLUSI PERSAMAAN DIRAC DENGAN SPIN SIMETRI UNTUK POTENSIAL SCARF HIPERBOLIK PLUS COULOMB LIKE TENSOR DENGAN METODE POLYNOMIAL ROMANOVSKI

Alpiana Hidayatulloh¹, Suparmi¹, Cari¹

Jurusan Ilmu Fisika Program Pascasarjana

Universitas Sebelas Maret, Surakarta

e_mail:alpianahidayatulloh@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan energi dan fungsi gelombang dari penyelesaian persamaan Dirac untuk potensial Rosen Morse plus potensial tensor tipe Coulomb untuk kasus spin simetri dan pseudospin simetri dengan menggunakan metode polinomial Romanovski. Penyelesaian persamaan Dirac dengan polinomial Romanovski dilakukan dengan cara mereduksi persamaan differensial orde dua menjadi persamaan differensial tipe Hipergeometri melalui substitusi variabel dan fungsi gelombang yang sesuai. Dengan membandingkan persamaan differensial orde dua tipe Hipergeometri dengan persamaan differensial standar untuk Polinomial Romanovski diperoleh persamaan energi relativistik dan fungsi bobot. Fungsi gelombang relativistik diperoleh dari fungsi bobot dan dinyatakan dalam bentuk polinomial Romanovski. Karena hasil energinya tidak bisa diselesaikan secara analitik, maka energi relativistik diperoleh dengan metode numerik menggunakan Matlab 2011, untuk kasus spin simetri diperoleh energi yang selalu positif

Kata kunci: Persamaan Dirac, Potensial Scarf Hiperbolik, Spin Simetri, Coulomb Like Tensor, Metode Polinomial Romanovski.

PENDAHULUAN

Pada fisika partikel, persamaan Dirac merupakan persamaan gelombang relativistik yang diformulasikan oleh ahli ilmu fisika Inggris Paul Dirac pada tahun 1928. Persamaan Dirac digunakan untuk mendeskripsikan partikel dinamik spin $\frac{1}{2}$ pada mekanika kuantum. Persamaan Dirac untuk beberapa potensial pada kasus spin simetri dan pseudospin simetri dapat diselesaikan dengan beberapa metode antara: metode hipergeometri, metode Nikiforov - Uvarov, metode polinomial Romanovski, metode pendekatan literasi.

Dalam paper ini persamaan Dirac untuk potensial Rosen Morse plus potensial tensor tipe Coulomb diselesaikan pada kasus spin simetri dengan metode polinomial Romanovski. Potensial tensor tersebut awalnya digunakan untuk memodelkan interaksi nukleon-nukleon yang kuat yang disebabkan oleh pertukaran dalam fisika nuklir.

Polinomial ini awalnya ditemukan oleh Sir E.J Routh[49] dan ditemukan kembali 45 tahun kemudian oleh VI Romanovski. Kami menerapkan metode polinomial Romanovski karena metode ini lebih sederhana dari metode NU dalam memperoleh spektrum energi dan fungsi gelombang meskipun ada keterbatasan dalam menentukan normalisasi fungsi gelombang. Sampai saat ini hanya sedikit peneliti menggunakan polinomial Romanovski untuk memecahkan persamaan Schrodinger dan Dirac untuk potensial tertentu.

TEORI DASAR

Persamaan Dirac digunakan untuk mendeskripsikan partikel yang berspin $\frac{1}{2}$ atau kelipatannya dalam mekanika kuantum. Pada persamaan Dirac, untuk kasus spin simetri berlaku bahwa selisih antara potensial vektor $V(r)$ dan potensial skalar $S(r)$ adalah konstan dan jumlahnya sama dengan potensial yang mempengaruhi sistem

sedangkan untuk kasus pseudospin simetri berlaku jumlah antara potensial vektor $V(r)$ dan r potensial skala $S(r)$ adalah konstan dan selisihnya sama dengan potensial yang mempengaruhi sistem.

Persamaan Dirac untuk potensial vektor $V(r)$ dan skalar $S(r)$ dituliskan sebagai berikut:

$$[c\vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \beta(Mc^2 + S(\vec{r})) - i\beta\vec{\alpha} \cdot \hat{r}U(r)]\Psi(\vec{r}) = [E - V(\vec{r})]\Psi(\vec{r}) \quad (1)$$

Dimana, $\vec{p} = -i\hbar\nabla$, $\vec{\alpha} = \begin{pmatrix} 0 & \vec{\sigma} \\ \vec{\sigma} & 0 \end{pmatrix}$,

$$\beta = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} \quad (2)$$

Dengan σ adalah matrik tiga dimensi Pauli, I adalah matriks identitas 2×2 . Jika nilai $\hbar = c = 1$. Dan spin Dirac dituliskan sebagai berikut:

$$\Psi(\vec{r}) = \begin{pmatrix} \varphi(\vec{r}) \\ \chi(\vec{r}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{F_{nk}(r)}{r} Y_{jm}^l(\theta, \phi) \\ i \frac{G_{nk}(r)}{r} Y_{jm}^{\bar{l}}(\theta, \phi) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Dimana $\varphi(\vec{r})$ adalah spin Dirac arah atas dan $\chi(\vec{r})$ adalah spin Dirac arah bawah. $Y_{jm}^l(\theta, \phi)$ adalah spin bola harmonik dan $Y_{jm}^{\bar{l}}(\theta, \phi)$ adalah pseudospin simetri bola harmonik.

Dengan memasukkan persamaan (2) dan (3) didapatkan

$$\left\{ \frac{d}{dr} + \frac{K}{r} - U(r) \right\} F_{nk}(r) = (M + E_{nk} - \Delta(r))(M - E_{nk} + \Sigma(r)) F_{nk}(r) \quad (4)$$

$$\left\{ \frac{d}{dr} - \frac{K}{r} - U(r) \right\} G_{nk}(r) = (M - E_{nk} + \Delta(r))(M - E_{nk} + \Sigma(r)) G_{nk}(r) \quad (5)$$

$F_{nk}(r)$ adalah komponen arah atas dan $G_{nk}(r)$ adalah komponen arah bawah, sehingga kita mendapatkan persamaan spin simetri dan pseudospin simetri masing-masing dituliskan sebagai berikut:

Untuk spin simetri

$$\left\{ \frac{d^2}{dr^2} - \frac{K(K+1)}{r^2} + \frac{2K}{r} U(r) - \frac{dU(r)}{dr} - U^2(r) \right\} F_{nk}(r) = (M + E_{nk} + \Delta(r))(M - E_{nk} + \Sigma(r)) F_{nk}(r) \quad (6)$$

Dan

$$\left\{ \frac{d^2}{dr^2} - \frac{K(K-1)}{r^2} + \frac{2k}{r} U(r) - \frac{dU(r)}{dr} + U^2(r) \right\} G_{nk}(r) = (M + E_{nk} + \Delta(r))(M - E_{nk} + \Sigma(r))G_{nk}(r) \quad (7)$$

Dimana $K(K+1) = l(l+1)$ adalah komponen spin arah atas dan $K(K-1) = l(l-1)$ adalah komponen spin arah bawah. Untuk spin simetri memiliki $\Delta(r) = c$ dan $\Sigma(r)$ merupakan potensial yang mempengaruhi sistem. Sedangkan pseudospin simetri memiliki $\Sigma(r) = c$ dan $\Delta(r)$ merupakan potensial yang mempengaruhi sistem.

METODE PENELITIAN

Metode penyelesaian persamaan diferensial orde dua yang belum banyak diaplikasikan untuk penyelesaian persamaan schrodinger adalah menggunakan polynomial Romanovski.

Persamaan Schrodinger satu dimensi untuk potensial shape invariance dapat diubah menjadi persamaan diferensial orde dua fungsi Hipergeometri dengan substitusi variabel yang sesuai. Bentuk dari Persamaan Schrodinger satu dimensi:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x) \quad (8)$$

Persamaan tipe Hipergeometri yang diperoleh dari persamaan schrodinger (8) dengan substitusi variabel yang sesuai, dimana tipe umum persamaan Hipergeometri adalah:

$$\frac{\partial^2 \psi(s)}{\partial s^2} + \frac{\bar{\tau}(s)}{\sigma(s)} \frac{\partial \psi(s)}{\partial s} + \frac{\bar{\sigma}(s)}{\sigma^2(s)} \psi(s) = 0 \quad (9)$$

Persamaan diferensial tipe Hipergeometri yang dapat diselesaikan dengan menggunakan polynomial Romanovski yang mula-mula diusulkan oleh S.J Routh dan kemudian dikembangkan oleh Romanovski, pers

$$\sigma \frac{\partial^2 y_n}{\partial s^2} + \tau \frac{\partial y_n}{\partial s} + \lambda y_n \quad (10)$$

Dengan $\sigma(s) = ax^2 + bx + c$; $\tau = dx + e$ dan $-\{n(n-1) + 2n(1-p)\} = \lambda = \lambda_n$

Dan $y_n = R_n^{(p,q)}(s) = D_n^{(\beta,\alpha)}(s)$

Dimana persamaan (10) adalah persamaan yang self-adjoint dan fungsi bobotnya dinyatakan sebagai $w(x)$ memenuhi persamaan diferensial pearson yang disajikan sebagai:

$$\frac{d(\sigma(x)w(x))}{dx} = \tau(x)w(x) \quad (11)$$

Fungsi bobot yang diperoleh dari penyelesaian differensial pada persamaan (11) adalah

$$w(x) = \exp \int \frac{(d-2a)x + (e-b)}{ax^2 + bx + c} \quad (12)$$

Persamaan (12) diatas disusun dari persamaan rodrigues yang dinyatakan sebagai

$$D_n^{(p,q)}(z) = \frac{1}{w(z)} \frac{d^n}{dz^n} ((az^2 + bz + c)^n w(z)) \quad (13)$$

Dengan nilai-nilai parameter pada persamaan (13) adalah

$a = I, b = 0, c = I, d = 2(1-p)$ dan $e = q$ dengan $p > 0$

Dengan memasukkan nilai parameternya ke persamaan (13) maka didapatkan fungsi bobot, yaitu:

$$w(x) = (1+z^2)^2 e^{q \tan^{-1}(z)} \quad (14)$$

Dengan memasukkan nilai τ dan λ dan nilai parameternya pada persamaan (12) maka didapatkan bentuk Persamaan diferensial polynomial Romanovski

$$(1+x^2) \frac{\partial^2 R_n^{p,q}(x)}{\partial x^2} + \{2x(-p+1) + q\} \frac{\partial R_n^{p,q}(x)}{\partial x} - \{n(n-1) + 2n(1-p)\} R_n^{p,q}(x) = 0 \quad (15)$$

Dan untuk penyelesaian persamaan fungsi gelombang pada polynomial Romanovski adalah:

$$F_n = (1+z^2)^{-\frac{\beta}{2}} e^{\frac{\alpha}{2} \tan^{-1}(z)} D_n^{(p,q)}(z) \quad (16)$$

Dengan memasukkan persamaan fungsi gelombang pada persamaan (14) kedalam persamaan (13) dan memasukkan nilai parameternya maka didapatkan fungsi bobotnya yaitu:

$$D_n^{(p,q)}(z) = D_n^{(p,q)}(z) = \frac{1}{(1+z^2)^{-p} e^{q \tan^{-1}(z)}} \frac{d^n}{dz^n} [(1+z^2)^n (1+z^2)^{-p} e^{q \tan^{-1}(z)}] \quad (17)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Persamaan Dirac untuk Potensial Rosen Morse Plus Coulomb Like Tensor Menggunakan Spin Simetri.

Dengan menggunakan persamaan (6) dan memasukkan potensial (Σ) yang mempengaruhinya dimana:

$$\Sigma = \alpha^2 \left(\frac{b^2 + a(a+1)}{\sinh^2 ar} - \frac{2b(a+\frac{1}{2}) \cosh ar}{\sinh^2 ar} \right) \quad (17)$$

Dengan U yang merupakan Coulomb like tensor dimana

$$U = -\frac{H}{r} \quad (18)$$

Maka didapatkan

$$\begin{aligned} \frac{d^2 F_{nk}}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \{ (K+H+1)(K+H) \} F_{nk}(r) - \\ \alpha^2 (M + E_{nk} - C_s) \left(\frac{b^2 + a(a+1)}{\sinh^2 ar} \right) F_{nk}(r) + \alpha^2 (M + \\ E_{nk} - C_s) \left(\frac{2b(a+\frac{1}{2}) \cosh ar}{\sinh^2 ar} \right) F_{nk}(r) - (M + E_{nk} - \\ C_s)(M - E_{nk}) F_{nk}(r) = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

Dimana $\frac{1}{r^2} = \frac{\alpha^2}{\sinh^2 ar}$

Dengan memasukkan nilai $\frac{1}{r^2}$ Maka persamaan (19) menjadi

$$\begin{aligned} \frac{d^2 F_{nk}}{dr^2} - \frac{1}{\sinh^2 ar} \left[\alpha^2 (K+H+1)(K+H) F_{nk}(r) + \right. \\ \alpha^2 (M + E_{nk} - C_s) (b^2 + a(a+1)) F_{nk}(r) - \\ \alpha^2 (M + E_{nk} - C_s) \left(2b \left(a + \frac{1}{2} \right) \cosh ar \right) F_{nk}(r) \left. \right] = \\ (M + E_{nk} - C_s)(M - E_{nk}) F_{nk}(r) \end{aligned} \quad (20)$$

Dengan melakukan permisalan maka persamaan (20) dengan

$$A = (K+H+1)(K+H) + (M + E_{nk} - C_s)(b^2 + a(a+1))$$

$$B = (M + E_{nk} - C_s) \left(2b \left(a + \frac{1}{2} \right) \right)$$

$$E = (M + E_{nk} - C_s)(M - E_{nk}) / \alpha^2$$

Maka persamaan (20) menjadi

$$\frac{d^2 F_{nk}}{dr^2} - \frac{\alpha^2 A}{\sinh^2 ar} F_{nk}(r) + \frac{\alpha^2 B \cosh ar}{\sinh^2 ar} F_{nk}(r) = \alpha^2 E F_{nk}(r) \quad (21)$$

B. Solusi Energi Persamaan Dirac dengan Menggunakan Spin Simetri untuk Potential Rosen Morse dengan Metode Polynomial Romanovski

Substitusi untuk variabelnya untuk rosen morse dengan metode polynomial Romanovski adalah sebagai berikut:

$$\cosh ar = iy$$

$$\frac{\partial}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial r}$$

$$= -ia \sinh ar \frac{\partial}{\partial r}$$

$$= -ia i \sqrt{(y^2 + 1)} \frac{\partial}{\partial y}$$

$$= a \sqrt{(y^2 + 1)} \frac{\partial}{\partial y}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial r^2} = (\alpha \sqrt{1 + y^2}) \frac{\partial}{\partial y} \left((\alpha \sqrt{1 + y^2}) \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

$$= \alpha^2 (1 + y^2)^2 \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \alpha^2 y \frac{\partial}{\partial y}$$

Dengan memasukkan permissalan diatas maka persamaan (22) menjadi

$$(1 + y^2) \frac{\partial^2 F_{nk}(r)}{\partial y^2} + y \frac{\partial F_{nk}(r)}{\partial y} + \frac{AF_{nk}(r)}{(1 + y^2)} - \frac{iByF_{nk}(r)}{(1 + y^2)} + EF_{nk}(r) = 0 \quad (22)$$

Kemudian penyelesaian secara umum fungsi gelombang pada metode polynomial Romanovski pada persamaan (16) dideferensialkan orde pertama dan kedua, maka persamaan (23) menjadi

$$(1 + y^2) D'' + (y(2\beta + 1) - \alpha) D' - \left[\frac{\beta y \alpha - \frac{\alpha y}{2} - \frac{\alpha^2}{4} - A + iBy + \beta^2 - \beta}{(1 + y^2)} - \beta^2 - E \right] D = 0 \quad (23)$$

Dengan menggunakan persamaan (23) dapat ditemukan nilai α dan β melalui pembanding yaitu persamaan defferensial orde dua yaitu:

$$(1 + x^2) \frac{\partial^2 R_n^{p,q}(x)}{\partial x^2} + \{2x(-p + 1) + q\} \frac{\partial R_n^{p,q}(x)}{\partial x} - \{n(n - 1) + 2n(1 - p)\} R_n^{p,q}(x) = 0$$

Dengan pembanding tersebut didapatkan nilai α dan

$$\beta = \sqrt{\frac{(\frac{1}{4} + A) + \sqrt{(\frac{1}{4} + A)^2 - B^2}}{2}} + \frac{1}{2} \quad (24)$$

$$\alpha = 2i \sqrt{\frac{(\frac{1}{4} + A) - \sqrt{(\frac{1}{4} + A)^2 - B^2}}{2}} \quad (25)$$

Dengan memasukkan nilai α dan β Sehingga energinya ditemukan sebesar

$$(M + E_{nk} - C_s)(M - E_{nk}) / \alpha^2 = - \left(\sqrt{\frac{(\frac{1}{4} + A) - \sqrt{(\frac{1}{4} + A)^2 - B^2}}{2}} + n + \frac{1}{2} \right)^2 \quad (26)$$

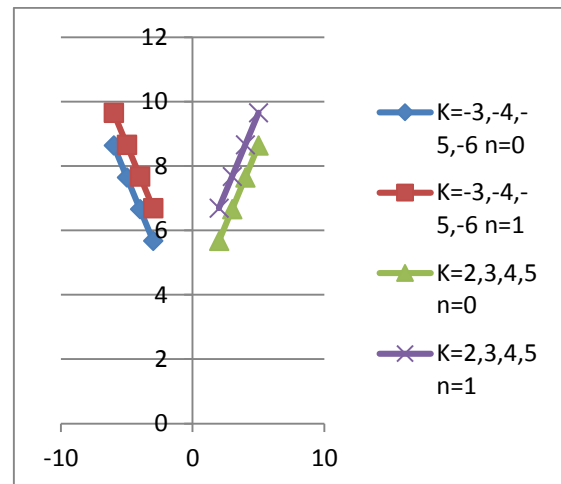
Hasil energinya yang diperoleh untuk spin symetri dilihat pada table 1, untuk $K < 0$ namun memiliki hasilnya energy yang sama untuk $K > 0$ ketika $H = 0$, kemudian ketika H memiliki nilai lebih besar dari nol maka memiliki nilai yang berbeda untuk $K < 0$ dan $K > 0$, untuk lebih jelasnya lihat pada table 1.

Tabel 1. Spektrum energi potensial scarf hiperbolik dengan Coulomb like tensor untuk $b = 0.6 \text{ fm}^{-1}$, $\nu = 1 \text{ fm}^{-1}$, $M = 3 \text{ fm}^{-1}$, $C_s = 5 \text{ fm}^{-1}$ dan $q = 1 \text{ fm}^{-1}$

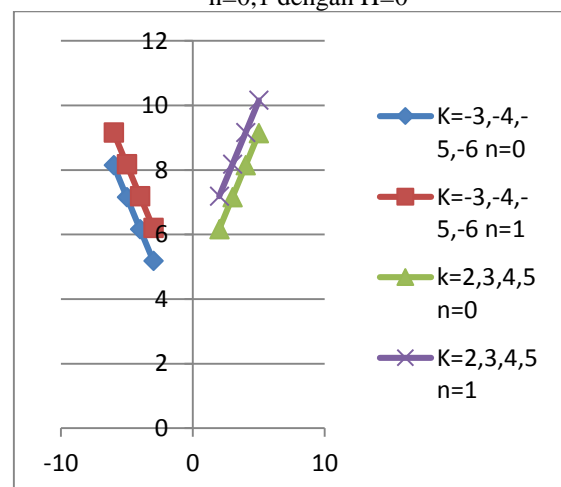
n	l	K < 0	J = l + 1/2	Enk > 0 H = 0	Enk > 0 H = 0,5
0	0	-3	0s _{1/2}	5,673	5,184
0	1	-4	0p _{3/2}	6,637	6,164

0	2	-5	0d _{5/2}	7,647	7,152
0	3	-6	0f _{7/2}	8,641	8,144
1	0	-3	s _{1/2}	6,693	6,204
1	1	-4	p _{3/2}	7,676	7,184
1	2	-5	d _{5/2}	8,664	8,169
1	3	-6	f _{7/2}	9,655	9,159
n	l	K > 0	j = l - 1/2	Enk > 0 H = 0	Enk > 0 H = 0,5
0	0	2	0s _{1/2}	5,673	6,164
0	1	3	0p _{3/2}	6,637	7,152
0	2	4	0d _{5/2}	7,647	8,144
0	3	5	0f _{7/2}	8,641	9,138
1	0	2	s _{1/2}	6,693	7,184
1	1	3	p _{3/2}	7,676	8,169
1	2	4	d _{5/2}	8,664	9,159
1	3	5	f _{7/2}	9,655	10,152

Dari hasil energi pada tabel 1 kita bisa menggambarkan grafik energinya seperti dibawah ini



Gambar 1a. Grafik energi untuk spin simetri untuk $n=0,1$ dengan $H=0$



Gambar 1b. Grafik energi untuk spin simetri untuk $n=0,1$ $H=0,5$

Bentuk persamaan fungsi gelombangnya adalah sebagai berikut:

Untuk $n=0$

$$\begin{aligned}
 F_{0k} &= (1+z^2)^{\frac{\beta}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \tan^{-1}(z)} D_0 \\
 &= (1+z^2)^{\frac{\beta}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \tan^{-1}(z)} 1 \\
 &= (1+\cosh(ar))^{\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{4}+A\right)+B+\frac{1}{4}}} (1 - \\
 &\quad \cosh(ar))^{-\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{4}+A\right)-B+\frac{1}{4}}} \quad (27)
 \end{aligned}$$

Untuk $n=1$

$$\begin{aligned}
 F_{1k} &= (1+z^2)^{\frac{\beta}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \tan^{-1}(z)} D_1 \\
 &= (1+\cos(ar))^{\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{4}+A\right)+B+\frac{1}{4}}} \\
 &\quad (1-\cos(ar))^{-\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{1}{4}+A\right)-B+\frac{1}{4}}} (z(2\beta+1)-\alpha) \quad (28)
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Penyelesaian persamaan Dirac dengan polinomial Romanovski dilakukan dengan cara mereduksi persamaan differensial orde dua menjadi persamaan differensial tipe Hipergeometri melalui substitusi variabel dan fungsi gelombang yang sesuai. Dengan membandingkan persamaan differensial orde dua tipe Hipergeometri dengan persamaan differensial standar untuk polinomial Romanovski diperoleh persamaan energi relativistik dan fungsi bobot. Fungsi gelombang relativistik diperoleh dari fungsi bobot dan dinyatakan dalam bentuk polinomial Romanovski. Karena hasil energinya tidak bisa diselesaikan secara analitik, maka energi relativistik diperoleh dengan metode numerik menggunakan Matlab 2011. Dan untuk kasus spin simetri diperoleh energi yang selalu positif

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini Didukung oleh Hibah Peneliti Utama (PUT UNS) 2014 dan Dikti no kontrak 165a/UN27.11/PN2013

DAFTAR PUSTAKA

A.Suparmi, C.Cari and U.A. Deta, Exact Solution of Dirac Equation for Scarf Potential with New Tensor Coupling Potential for spin and Pseudospin Symmetry Using Romanovski Polynomial, diterima untuk dipublikasikan pada journal Chinese Physics B sebagai artikel no. 140287 akan dipublikasikan pada juli 2014 hal 12.

A.suparmi, and C.Cari, Solution of Dirac Equation for q-Deformed Eckart Potential with Yukawa-type Tensor Interaction for Spin and Pseudospin Symmetry Using Romanovski Polynomial, *Atom Indonesia*, vol.39, no.3, 2013, hal 112-123.

A.Suparmi, C. Cari, et al, Approximate Solution of Schrodinger Equation for Modified Poschl-Teller plus Trigonometric Rosen-Morse Non-Central Potentials in Term of Finite Romanovski polynomial, *IOSR Journal of Applied Physics*, vol.2, no.2, 2012, pp. 43-51.

Cari, *Mekanika Kuantum-penyelesaian potensial non-central dengan supersimetri, hipergeometri, Nikivarof Uvarof dan Polynomial Romanovski*, UPT Penerbitan; Surakarta Jawa Tengah, 2013.

Cari, Suparmi, et al, Solution of Dirac Equation for Cotangent Potential with Coulomb-type Tensor Interaction for Spin and Pseudospin Symmetry Using Romanovski polynomial, *makara journal of science* Vol.17, No.3, 2013. hal 93-102.

Suparmi, *Mekanika Kuantum II*, Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret; Surakarta, 2011.

Taskin, Ferhat and Kocak, Gokhan, Spin Symmetric Solution of Dirac equation with Poschl-Teller potential, *Chin. Phys. B*, vol.20, No.7, 2011, hal.070302-5

PENINGKATAN KINERJA SISTEM PV/T DENGAN KOLEKTOR UDARA : ANALISIS TERMODINAMIKA DAN FOTONIK

*Dadan Hamdani¹, Yuki Novia Nasution², Supriyanto³

^{1,3} Program Studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda

² Program Studi Statistika FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda

*Email : hamdani.dadan@yahoo.co.id

Abstract

In this paper, the analysis of PV/T system with air collector have been done as an attempt to investigate the system performances based on energy and exergy analysis using thermodynamics (thermal) and photonic analysis. The experimental data for a typical day of June 10th 2014 for Bontang City, East Kalimantan are used for calculation of the energy, exergy, energy and exergy efficiencies of the PV and PV/T systems. It is found that varies flow of energy (thermal and electrical) from a minimum of 114 W to maximum of 682 W, the PV exergy varies from a minimum of 14 W to a maximum of 48 W corresponding to the total energy of system and PV/T exergy varies from a maximum of 147 W to a minimum of 21 W, respectively. Meanwhile, the exergy efficiency for the PV/T system varies from a maximum of 16,1% to a minimum of 9,6% and exergy efficiency for the PV system varies from a minimum of 1,5% to a maximum 7,5%. Energy and exergy analysis using various wavelength of the visible spectrum for performances of PV system shows that the photonic energy and exergy are higher for lower wavelengths of visible spectrum show that the maximum photonic energy and exergy can be seen about 1045 W and 87 W, respectively for 400 nm of wavelength and a minimum of 597 W and 50 W, respectively for 700 nm of wavelength.

Keywords : energy, exergy, efficiency, PV/T, wavelength of visible spectrum

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akan terus meningkat di masa mendatang, konsumsi energi final selama periode 2000-2011 meningkat rata-rata 3% per tahun seiring meningkat pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan ekonomi penduduk, maupun kebijakan yang dikeluarkan pemerintah. Semakin tingginya kebutuhan energi pada berbagai sektor dan cadangan sumber energi fosil yang makin berkurang mendorong semua pihak, terutama dari dunia riset untuk mengembangkan sumber energi alternatif. Salah satu yang menjadi tumpuan sebagai sumber energi masa depan adalah rekayasa energi surya (*solar energy*) dengan sumber yang melimpah dan tidak pernah habis.

Secara umum, rekayasa energi surya terbagi menjadi dua bagian, yaitu rekayasa termal yang mengubah energi surya menjadi energi termal dan rekayasa Photovoltaik (PV) yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Dalam sistem termal, energi listrik konvensional dibutuhkan untuk mengalirkan fluida kerja (*working fluid*) ke kolektor, tetapi penggunaan energi listrik konvensional dapat dihindari dengan melakukan hibridisasi PV-Termal (PV/T) yang mampu secara simultan menghasilkan energi listrik dan termal (Shahsavari, et.al, (2012)).

Kinerja sistem hibrid PV/T dipelajari, baik secara eksperimen maupun numerik oleh banyak peneliti hampir lebih dari 40 tahun yang lalu, dimana konsep tentang PV/T kolektor menggunakan air dan udara sebagai penyerap panas. Sistem PV/T dimodelkan menggunakan persamaan Hottel-Whillier yang menjelaskan hubungan linier antara

efisiensi sel dan suhu operasional (Florschuetz, 1979). Perkembangan selanjutnya, dilakukan oleh Fujisawa and Tani, (1997) yang melakukan pengujian terhadap kinerja PV/T hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi termal total sistem dapat mencapai 60 % untuk aliran paksa (*flow forced*) pada inlet bersuhu rendah.

Infield, et.al (2004) menyebutkan bahwa pengurangan suhu modul PV dilakukan dengan mengalirkan udara antara modul PV dan dua ruang gelas sebagai pemanas dan berhasil mengembangkan model tunak (*steady state*) untuk mengevaluasi koefisien rugi-rugi termal total dan faktor penyerap panas. Tiwari and Sodha (2006), melakukan validasi hasil teoritis dan hasil eksperimen terhadap modul PV yang dengan mengintegrasikan pipa udara, dimana pada pengujian untuk kondisi klimatologi India diperoleh efisiensi termal keseluruhan naik secara signifikan (~18%) akibat penggunaan panas dari modul PV.

Selain itu, Joshi, et.al (2009) melakukan perbandingan terhadap kinerja termal dari sistem PV/T dengan kombinasi *glass to glass* dan *glass to tedlar*, hasilnya menunjukkan bahwa untuk PV/T kolektor udara *glass to glass* menghasilkan kinerja termal yang lebih baik dibandingkan PV/T kolektor udara *glass to tedlar*. Agrawal and Tiwari (2011), melakukan evaluasi sistem hibrid PV/T dilakukan dengan analisis energi dan eksergi dilakukan pada sistem *micro-channel photovoltaic thermal* (MCPVT) collector menggunakan laju aliran massa udara konstan, dimana dengan menggunakan komputasi numerik diperoleh hasil energi dan

eksergi lebih tinggi dibandingkan dengan sistem PV/T konvensional.

Analisis sistem PV/T kolektor berdasarkan tinjauan energi dan eksergi juga dilakukan oleh Shahsavar, et.al (2012) yang menggunakan ventilasi untuk mengalirkan udara secara alami pada sistem PV/T tipe *glazed* dan *unglazed* dengan menambahkan lembaran logam sebagai penyerap panas pada ruang pemanas, dimana efisiensi energi dan eksergi secara keseluruhan meningkat dengan meningkatnya efisiensi sel PV. Adeli, et.al (2012) melakukan evaluasi terhadap pengujian sistem PV/T kolektor udara dan melakukan simulasi untuk mendapatkan parameter optimumnya, dimana hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi termal meningkat dari 46.5 % menjadi 49 %, sedangkan efisiensi listriknya relatif konstan sekitar 9.3 %. Srinivas and Jayaraj, (2013) melakukan investigasi terhadap kinerja sistem PV/T kolektor air dengan menggunakan saluran *double pas* dilakukan dengan mensimulasikannya dengan ANN, dimana hasilnya menunjukkan bahwa pada saat efisiensi listrik modul PV menurun, maka efisiensi termalnya akan meningkat.

Dalam tulisan ini, dilakukan evaluasi energi dan eksergi sistem hibrid PV/T kolektor udara menggunakan dua metode analisis, yaitu (1) termal (termodinamika) untuk analisis solar energi, dan (2) energi fotonik (potensial kimia) dari matahari untuk kondisi iklim di Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model termodinamika dan model fotonik (potensial kimia) sistem PV/T kolektor udara menggunakan analisis energi dan eksergi.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Perangkat eksperimen

Perangkat eksperimen yang digunakan untuk analisis ditunjukkan pada Gambar 1. Ketika radiasi matahari sampai pada permukaan modul PV, maka radiasi tersebut akan dikonversi menjadi energi listrik yang tersimpan dalam baterai dan modul PV akan mengalami pemanasan menghasilkan energi panas. Sistem yang digunakan dalam eksperimen terdiri dari dua modul PV (100 W_p) yang terhubung secara seri dan berisi masing-masing 36 sel yang terhubung secara seri. Setiap modul PV memiliki luas efektif sekitar 0,451 m². Sistem hibrid PV/T tersusun dari modul PV yang diletakkan dalam rangka kayu yang dilapisi bahan logam tipis sebagai penyerap panas. Spesifikasi dasar modul PV yang digunakan dalam eksperimen ini disediakan oleh perusahaan pembuat pada 1000 W/m² pada suhu 25 °C (STC, *standard test condition*), sebagai berikut :

- Tipe sel : Monokristalin

- V_{oc} : 21.6 V
- I_{sc} : 2.98 A
- Jumlah sel : 36 buah
- Luas modul : 0,451 m²
- Efisiensi sel : 14,5 %



Gambar. 1 Sistem hibrid PV/T yang digunakan dalam eksperimen

Pengujian sistem dilakukan dari pukul 9:00 sampai 15:00 pada tanggal 10 Juni 2014 di Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur (117°23' BT dan 0°01' LS). Data yang diukur dalam eksperimen ini meliputi : radiasi matahari total (menggunakan alat Solar Power Meter pada 6 titik yang berbeda pada permukaan modul PV), tegangan baterai (V_m), V_{oc}, arus baterai (I_m), I_{sc}, suhu sel dan suhu lingkungan (menggunakan Termometer Termokopel Digital dan termometer). Udara dilewatkan pada saluran yang dilapisi logam sebagai pendingin menggunakan dua buah kipas angin 12 W yang dioperasikan oleh baterai (12 V dan 100 Ah). Aliran udara di atas modul PV dengan orientasi tetap diukur menggunakan Anemometer digital.

Metode evaluasi

1. Evaluasi Model Termodinamika Sistem PV/T

Evaluasi sistem PV/T didasarkan pada analisis energi (Hukum I Termodinamika) dan analisis eksergi (Hukum II Termodinamika). Dincer and Rosen (2005) melakukan pembahasan tentang analisis eksergi dengan menggunakan prinsip hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan energi yang dikombinasikan dengan Hukum II Termodinamika untuk melakukan analisis, perancangan dan perbaikan energi sistem. Analisis eksergi menjelaskan analisis energi secara kuantitatif dan kualitatif.

Dengan mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Sahin, et.al (2007), keseimbangan energi dan eksergi dari aliran materi dalam sistem dinyatakan dalam hubungan ;

$$\sum_m ex_{in} m_{in} - \sum_m ex_{out} m_{out} + \sum_r Q_r - W = 0 \quad (1)$$

$$\sum_m ex_{in} m_{in} - \sum_m ex_{out} m_{out} + \sum_r Ex^Q - Ex^W - I = 0 \quad (2)$$

dimana m_{in} , m_{out} , ex_{in} , ex_{out} , Q_r , Ex^Q , W , Ex^W , dan I masing-masing adalah mass masukan, mass keluaran dalam sistem, masukan eksgergi spesifik, keluaran eksgergi spesifik, panas yang ditransfer ke dalam sistem sepanjang daerah r dalam batas system, eksgergi yang ditransfer berkaitan dengan Q_r , kerja yang ditransfer ke luar sistem, transfer eksgergi yang berkaitan dengan W , dan eksgergi yang digunakan.

Oleh karena $m_{in} = m_{out}$ untuk sistem tertutup, maka persamaan (1) dan (2) dapat disederhanakan menjadi :

$$\sum_r Q_r - W = 0 \quad (3)$$

$$\sum_r Ex^Q - Ex^W - I = 0 \quad (4)$$

Kinerja sistem PV tergantung pada dua faktor utama, yaitu sifat listrik dan sifat termal. Pada saat konversi energi matahari menjadi energi listrik terjadi, maka sebagian energi tersebut akan berubah menjadi panas (termal) yang akan hilang ke lingkungan. Aliran energi listrik (luaran energi) dan eksgergi luaran sistem PV yang dihasilkan oleh sistem PV dinyatakan dalam hubungan (Joshi, et.al, 2009):

$$\dot{E}n_{out} = \dot{E}n_{elektrik} + \dot{E}n_{termal} = V_{OC} I_{SC} + \dot{Q} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{out} &= \dot{E}x_{elektrik} + \dot{E}x_{termal} + \dot{E}x_{destruksi} \\ &= \dot{E}x_{elektrik} + I' \end{aligned} \quad (6)$$

dimana I' pada persamaan (6) menunjukkan konsumsi sistem eksgergi (berharga nol untuk proses reversibel dan lebih besar dari nol untuk proses irreversibel) dinyatakan dalam hubungan :

$$I' = \sum \dot{E}x_{destruksi} = \dot{E}x_{d,elektrik} + \dot{E}x_{d,termal} \quad (7)$$

Untuk menghitung eksgergi listrik sistem PV, $Ex_{elektrik}$ diasumsikan bahwa kandungan eksgergi yang sampai pada permukaan PV seluruhnya digunakan untuk menghasilkan eksgergi listrik maksimum ($V_{OC} I_{SC}$) yang dihitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{elektrik} &= \dot{E}n_{elektrik} - I' \\ &= V_{OC} I_{SC} - (V_{OC} I_{SC} - V_m I_m) \\ &= V_m I_m \end{aligned} \quad (8)$$

Eksgergi termal sistem PV berupa panas yang hilang dari permukaan PV ke lingkungan, dimana secara termodinamika dinyatakan dalam bentuk :

$$\dot{E}x_{termal} = \left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{sel}} \right) \dot{Q} \quad (9)$$

dimana \dot{Q} menyatakan panas yang hilang yang dinyatakan dalam hubungan :

$$\dot{Q} = h_{ca} A (T_{sel} - T_{ambient}) \quad (10)$$

dengan $h_{ca} = 5,7 + 3,8v$ dengan h_{ca} menyatakan koefisien transfer panas (konvektif atau radiatif), v menyatakan laju aliran angin, A luas permukaan PV, T_{sel} menyatakan temperatur sel dan $T_{ambient}$ merupakan temperatur rata-rata lingkungan.

Dengan meninjau persamaan (5)-(10) persamaan umum yang menyatakan aliran eksgergi sistem PV dan sistem PV/T dinyatakan dengan :

- Untuk Sistem PV :

$$\dot{E}x_{PV} = \left(V_m I_m - \left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{sel}} \right) h_{ca} A (T_{sel} - T_{ambient}) \right) \quad (11)$$

- Untuk sistem PV/T

$$\dot{E}x_{PV/T} = \left(V_m I_m + \left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{sel}} \right) h_{ca} A (T_{sel} - T_{ambient}) \right) \quad (12)$$

Efisiensi energi sistem PV dinyatakan sebagai rasio antara keluaran energi sistem (energi listrik dan termal) terhadap energi masuk (energi matahari) yang sampai pada permukaan PV, dinyatakan dalam bentuk hubungan :

$$\eta_{energi} = \frac{\dot{E}n_{output}}{\dot{E}n_{input}} = \frac{V_{OC} I_{SC} + \dot{Q}}{S_T A} \quad (13)$$

Untuk solar sel efisiensi konversi dinyatakan sebagai kemampuan sel untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, sehingga efisiensi konversinya dinyatakan dalam bentuk :

$$\eta_{pc} = \frac{FF V_{OC} I_{SC}}{S_T A} \quad (14)$$

dengan FF menyatakan “fill factor” :

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{OC} I_{SC}} \quad (15)$$

Sedangkan efisiensi konversi maksimum sel PV dinyatakan dalam bentuk :

$$\eta_{m,elektrik} = \frac{V_{OC} I_{SC}}{S_T A} \quad (16)$$

Evaluasi terhadap efisiensi eksgergi sel PV diperlukan informasi tentang eksgergi total yang masuk (irradiansi matahari) yang nilainya ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\dot{E}x_{solar} = \left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{matahari}}\right) S_T A \quad (17)$$

dimana $T_{solar} = 5777$ K, sehingga efisiensi eksergi untuk sistem PV, secara umum dinyatakan dalam bentuk hubungan :

$$\psi = \frac{\dot{E}x_{output}}{\dot{E}x_{input}} = \frac{\dot{E}x_{input} - \sum \dot{E}x_{destruksi}}{\dot{E}x_{input}} = 1 - \frac{I'}{\dot{E}x_{input}} \quad (18)$$

- Untuk Sistem PV :

$$\psi_{PV} = \frac{V_m I_m - \left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{sel}}\right) (h_{ca} A (T_{sel} - T_{ambient}))}{\left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{matahari}}\right) S_T A} \quad (19)$$

- Untuk sistem PV/T

$$\psi_{PV/T} = \frac{V_m I_m + \left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{sel}}\right) (h_{ca} A (T_{sel} - T_{ambient}))}{\left(1 - \frac{T_{ambient}}{T_{matahari}}\right) S_T A} \quad (20)$$

2. Evaluasi Model Fotonik Sistem PV/T

Energi satu foton dari radiasi Matahari yang sampai di permukaan sel PV dinyatakan dalam hubungan :

$$E_{nf}(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} \quad (21)$$

dimana h menyatakan konstanta Planck = 6.626×10^{-34} J.s, ν frekuensi foton (s^{-1}), c kelajuan cahaya = $2,998 \times 10^8$ ms $^{-1}$, dan λ panjang gelombang spektrum cahaya matahari (nm). Berdasarkan energi foton yang sampai pada permukaan modul PV, maka analisis terhadap energi dan eksergi modul PV didasarkan pada energi fotonik dinyatakan dalam persamaan (22 – 26) (Joshi, et.al, 2009 ; Rusirawan and Farkas, 2011) :

$$N_f = \left(4,4 \times 10^{21} / 1367\right) G \quad (22)$$

$$\dot{E}n_f(\lambda) = E_{nf}(\lambda) N_f A \quad (23)$$

$$\dot{E}n_{Pot Kimia} = \dot{E}n_f(\lambda) \left(1 - \frac{T_c}{T_s}\right) \quad (24)$$

$$T_c = T_{Amb} + \frac{G}{0,8} (NOCT - 20^\circ) \quad (25)$$

$$\dot{E}x_{Pot Kimia} = \eta_{pc} \dot{E}n_{Pot Kimia} \quad (26)$$

dimana N_f menyatakan jumlah foton yang sampai pada permukaan modul PV per satuan waktu per satuan luas; $\dot{E}n_f(\lambda)$ menyatakan energio fotonik yang sampai pada permukaan modul PV (W); $\dot{E}n_{Pot Kimia}$ menyatakan energi fotonik yang tersedia atau potensial kimia (W); $\dot{E}x_{Pot Kimia}$ menyatakan laju eksergi yang tersedia dari potensial kimia (W); T_s menyatakan suhu permukaan matahari (5777 K); T_{Amb} menyatakan suhu lingkungan ; T_c menyatakan suhu sel PV; η_{pc} menyatakan efisiensi konversi PV; V menyatakan tegangan keluaran PV (V); I menyatakan arus keluaran PV (A); G menyatakan irradiansi matahari (W/m 2) dan A luasan modul PV (m 2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip kerja sistem PV/T didasarkan pada proses pendinginan sel PV yang diletakkan pada suatu ruang pemanas (*heating space*) yang berfungsi untuk menampung panas yang diserap dan didinginkan menggunakan kipas angin DC. Sistem PV/T dapat digunakan sebagai sistem *cogeneration* yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik, juga memanfaatkan panas buangan untuk digunakan dalam proses lainnya.

Hasil pengujian dan monitoring sistem PV/T ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3, dimana parameter yang mempengaruhi kinerja sistem PV/T, meliputi faktor keluaran listrik (I_{sc} , V_{oc} , $I_{Baterai}$, $V_{Baterai}$) dan lingkungan (suhu lingkungan, radiasi matahari, kelajuan angin) yang dicatat untuk interval waktu 15 menit dan dirata-ratakan dalam setiap arah pengamatan.

Tabel 2

Data pengamatan intensitas matahari dan suhu pada pengujian dan monitoring PV/T pada Tanggal 10 Juni 2014 di TPA Bontang Lestari Kota Bontang

Waktu (Jam)	Intensitas Matahari (W/m^2)						Suhu	
	1	2	3	4	5	6	T_{ling} (K)	T_{se} (K)
9:00	581	569	626	607	660	657	302	327
10:00	604	726	748	729	744	718	304	329
11:00	877	882	860	865	852	846	305	337
12:00	952	975	1006	1013	1028	1031	307	341
13:00	890	905	920	899	925	904	308	341
14:00	650	656	767	689	669	661	309	335
15:00	428	426	473	477	412	406	308	327

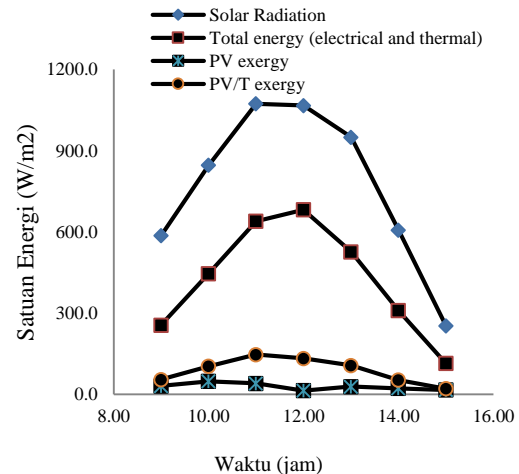
Tabel 3

Data pengamatan keluaran listrik PV/T dan baterai, serta kelajuan aliran udara pada dari saluran pemanas (dan suhu pada pengujian dan monitoring PV/T pada Tanggal 10 Juni 2014 di TPA Bontang Lestari Kota Bontang

Waktu (Jam)	Fotovoltaik		Baterai		Kelajuan Aliran Udara v (m/s)
	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	V_m (V)	I_m (A)	
9:00	19	4,0	13,0	3,8	1,9
10:00	19,1	5,6	13,5	4,0	2,0
11:00	19,2	4,8	13,4	4,4	2,0
12:00	19,1	6,0	13,3	5,6	2,0
13:00	19,2	5,8	13,7	5,8	2,0
14:00	19,1	4,2	13,2	3,3	2,1
15:00	18,7	3,8	12,8	3,0	2,2

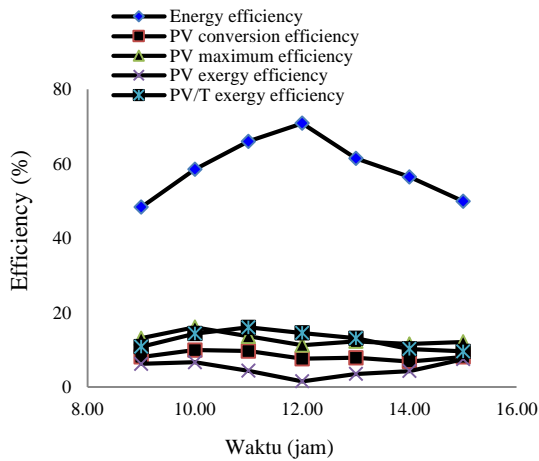
Gambar. 2 menunjukkan variasi energi PV, dan variasi eksgergi sistem PV dan PV/T, serta total radiasi matahari sebagai fungsi waktu. Radiasi matahari total bervariasi antara 253 W pada pukul 3 sore (minimum) dan 1074 W pada pukul 11 siang (maksimum) yang berkorelasi dengan aliran energi (termal dan listrik) minimum sekitar 114 W dan maksimum sekitar 682 W. Variasi eksgergi sistem PV minimum sekitar 14 W (pukul 12 siang) dan 48 W (pukul 10 pagi), sedangkan variasi eksgergi sistem PV/T minimum sekitar 21 W (pukul 3 sore) dan

maksimum sekitar 147 W (pukul 11 pagi). Eksgergi sistem PV mencapai nilai minimum pada pukul 12 siang disebabkan oleh adanya peningkatan suhu sel modul PV yang menyebabkan terjadinya penurunan daya yang dihasilkan dan panas yang dihasilkan akan hilang ke lingkungan yang bersesuaian dengan eksgergi listrik yang hilang (*electrical exergy destruction*).

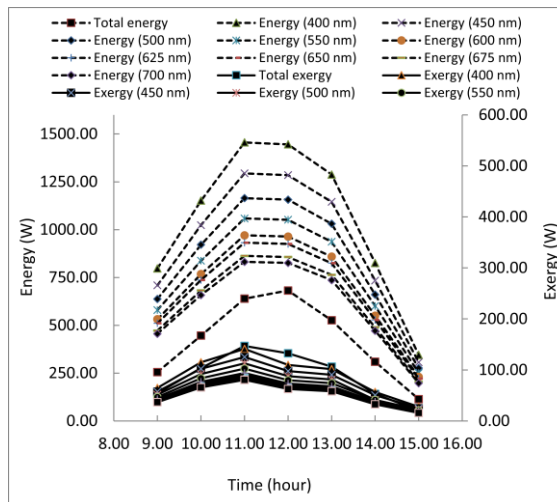


Gambar 2 Variasi radiasi matahari, energi total (listrik + termal), eksgergi PV dan eksgergi PV/T terhadap waktu.

Gambar. 3 menunjukkan variasi efisiensi energi (listrik dan termal) sistem PV dan PV/T. Efisiensi energi sistem PV bervariasi antara 48,3 % (pukul 9 pagi) sampai 70,9 % (pukul 12 siang), sedangkan efisiensi eksgerginya berkisar antara 1,5 % (pukul 12 siang) sampai 7,5 % (pukul 4 sore). Sementara itu, efisiensi eksgergi sistem PV/T yang berkaitan dengan efisiensi energinya berkisar antara 9,6 % (pukul 3 sore) sampai 16,1 % (pukul 11 pagi). Kemampuan sistem PV untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dipengaruhi oleh peningkatan suhu sel PV yang dinyatakan dengan efisiensi konversi daya (efisiensi listrik), dimana untuk sistem ini berkisar antara 6,9-10 % dan efisiensi listrik maksimum berada pada kisaran 11,3 -16,1 %. Efisiensi eksgergi sistem PV dan PV/T terhadap sistem PV meningkat seiring peningkatan radiasi matahari, hal ini disebabkan pada kenyataan bahwa pada saat radiasi matahari besar, maka eksgergi termal sistem PV/T semakin besar, sehingga efisiensi eksgergi sistem PV dan PV/T akan berbeda. Gambar. 4 menunjukkan variasi energi matahari total, eksgergi total, energi fotonik (potensial kimia) dan eksgergi yang berkaitan dengan energi fotonik untuk variasi spectrum panjang gelombang cahaya tampak (*visible*) terhadap waktu untuk sistem PV. Variasi panjang gelombang dengan jangkauan $400 \leq \lambda \leq 700$ nm pada spektrum cahaya tampak digunakan untuk mengevaluasi energi dan eksgergi fotonik.



Gambar 3 Variasi jam-an efisiensi energi dan eksergi sistem PV dan PV/T terhadap waktu.

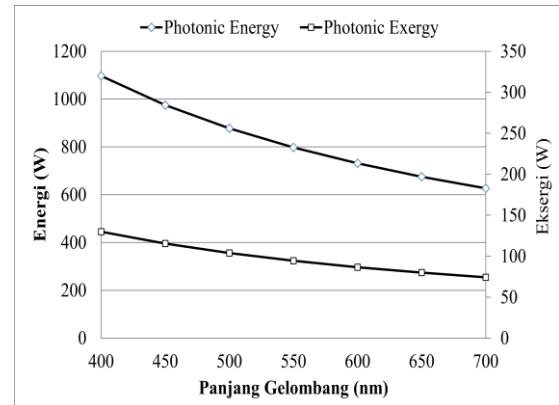


Gambar 4 Variasi jam-an energi fotonik dan energi matahari pada panjang gelombang berbeda pada spektrum cahaya tampak (visible) terhadap waktu.

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar. 4 dapat dilihat bahwa energi dan eksergi fotonik nilai besar untuk panjang gelombang pendek (*short wavelength*) pada 400 nm dan berlaku sebaliknya, hal ini disebabkan pada kenyataan bahwa energi dan eksergi fotonik berkaitan dengan jumlah penyinaran (energi matahari) yang sampai pada permukaan modul PV dalam bentuk radiasi foton dengan energi yang lebih besar pita energi akan didisipasi menjadi panas, sedangkan photon dengan panjang gelombang lebih besar dari panjang gelombang *cutoff* menyebabkan divais PV tidak bisa menghasilkan proses konversi menjadi energi listrik. Efisiensi eksergi fotonik untuk sistem PV berdasarkan hasil perhitungan menggunakan konversi daya rata-rata sekitar 8,3 %.

Gambar. 5 menunjukkan pengaruh panjang gelombang dalam spektrum cahaya tampak terhadap

energi dan eksergi fotonik sistem PV dengan mengacu pada hasil perhitungan menggunakan variasi panjang gelombang 400-700 nm berdasarkan perhitungan radiasi matahari rata-rata, suhu sel PV dan efisiensi konversi daya. Untuk kasus ini, energi dan eksergi fotonik maksimum masing-masing sekitar 1045 W dan 87 W untuk panjang gelombang 400 nm dan nilai minimumnya masing-masing 597 W dan 50 W untuk panjang gelombang 700 nm. Dengan kata lain bahwa energi dan eksergi fotonik bernilai maksimum untuk panjang gelombang kecil.



Gambar 5 Pengaruh panjang gelombang dalam spektrum cahaya tampak terhadap energi dan eksergi fotonik.

KESIMPULAN

Analisis sistem PV/T dengan integrasi kolektor surya dengan metode Termodinamika dan Fotonik telah dilakukan menggunakan data hasil pengujian sistem. Kedua metode dapat digunakan untuk menganalisis kinerja sistem dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi konversinya (termal dan listrik) didasarkan pada efisiensi energi dan ekserginya. Berdasarkan metode Termodinamika, efisiensi energi sistem PV lebih besar dari efisiensi ekserginya dan efisiensi eksergi sistem PV/T lebih besar dari efisiensi energi sistem PV yang bersesuaian dengan energi termal yang dihasilkan oleh sistem PV yang dianggap sebagai panas yang hilang ke lingkungan. Berdasarkan kenyataan bahwa radiasi matahari yang tinggi, menyebabkan energi termal sistem PV/T tinggi sehingga perbedaan efisiensi eksergi sistem PV dan PV/T menjadi lebih besar. Mengacu pada hasil yang ditunjukkan oleh metode fotonik, analisis energi dan eksergi fotonik menggunakan variasi panjang gelombang pada spektrum cahaya tampak menunjukkan bahwa kinerja sistem PV bekerja sangat baik pada panjang gelombang pendek (400 nm) dengan nilai energi dan eksergi maksimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (DP2M) DIKTI yang telah mendanai Penelitian Hibah Bersaing melalui dana desentralisasi Perguruan Tinggi Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- A. D. Sahin, I. Dincer and M. A. Rosen (2007). *Thermodynamic analysis of solar photovoltaic cell systems*. Solar Energy Materials & Solar Cells 91 : 153–159
- A. S. Joshi, A. Tiwari, G. N. Tiwari, I. Dincer, and B. V. Reddy (2009). *Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) (glass-to-glass) system*, International Journal of Thermal Science 48 : 154–164.
- A. S. Joshi, I. Dincer, B. V. Reddy. (2009). *Thermodynamic assessment of photovoltaic systems*, Solar Energy 83 : 1139–1149.
- A. Shahsavar, M. Ameri and M. Gholampour (2012). *Energy and exergy analysis of a photovoltaic-thermal collector with natural air flow*. Journal of Solar Energy Engineering Vol. 134, Issue 1 : 1-10.
- A. Tiwari and M. S. Sodha. (2006). *Performance evaluation of solar PV/T system: An experimental validation*. Solar Energy 22, 751–759.
- D. Infield, L. Mei, and U. Eicker. (2004) *Thermal performance estimation of ventilated PV facades*, Solar Energy 76 : 93-98.
- I. Dincer and M. A. Rosen, (2005). *Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development*. Renewable & Sustainable Energy Reviews 9 (2) : 169–189.
- L. W. Florschuetz (1979). *Extension of the Hottel–Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors*. Solar Energy 22, 361–366.
- M. M. Adeli, F. Sobhnamayan, S. Faraha, M. A. Alavi, and F. Sarhaddi (2012). *Experimental performance evaluation of a photovoltaic thermal (PV/T) air collector and its optimization*, Journal of Mechanical Engineering 58: 309-318.
- M. Srinivas and S. Jayaraj. (2013). *Investigations on the performance of a double pass, hybrid - type (PV/T) solar air heater*, International Journal of Energy and Environment (IJEE), Vol. 4, Issue 4, 687-698.
- Rusirawan, D. and Farkas, I. (2011). *Exergetic assessment of polycrystalline and amorphous photovoltaic modules in different methods*. Synergy in the Technical Development of Agriculture and Food Industry (Synergy 2011) Godollo, Hungary 9 – 15 October 2011.
- S. Agrawal and G. N. Tiwari (2011). *Energy and exergy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module*, Solar Energy 85 : 356–370.
- T. Fujisawa and T. Tani. (1997). *Annual exergy evaluation on photovoltaic-thermal hybrid collector*. Solar Energy Materials and Solar Cells 47:135–48.

DETEKSI ANOMALI PARU-PARU DENGAN METODE REKONSTRUKSI PROYEKSI BALIK DALAM TOMOGRAFI IMPEDANSI ELEKTRIK

***Khusnul Ain¹, Deddy Kurniadi², Suprijanto³, Oerip Santoso³**

¹Departemen Fisika - Universitas Airlangga, Surabaya - Indonesia

²Teknik Fisika, ³Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung - Indonesia

*Email : k_ain@fst.unair.ac.id

Abstrak

Tomografi impedansi elektrik (TIE) adalah salah satu modalitas pencitraan yang cukup menjanjikan sebagai deteksi dini penyakit paru-paru. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh modalitas ini diantaranya adalah bebas radiasi pengion, perangkatnya sederhana, berbiaya rendah, dan proses akuisisi data cepat. Namun hingga saat ini teknik ini masih memiliki kendala rendahnya resolusi citra yang dihasilkan. Dalam penelitian ini diusulkan pemanfaatan metode proyeksi balik untuk mendeteksi adanya anomali pada paru-paru. Metode yang digunakan yaitu melakukan rekonstruksi citra relatif dari data potensial paru-paru normal dan abnormal pada kondisi sedang ekspirasi dan inspirasi. Simulasi menunjukkan bahwa metode rekonstruksi proyeksi balik dari data potensial paru-paru normal dan abnormal pada kondisi sedang ekspirasi maupun inspirasi belum mampu mendeteksi adanya anomali pada paru-paru, namun dari data potensial relatif antara paru-paru normal dan abnormal dapat mendeteksi keberadaan dan posisi anomali meskipun belum mampu membedakan ukuran anomali.

Kata kunci : paru-paru abnormal, deteksi, proyeksi balik, impedansi elektrik, tomografi

PENDAHULUAN

Diagnosis non-invasive dalam bidang medis adalah salah satu teknologi inovatif yang sedang berkembang sejak diperkenalkannya tomografi sinar-X pada tahun 1972. Teknologi yang telah dikembangkan oleh Cormack dan Hounsfield tersebut dapat merekonstruksi citra 3D dari data proyeksi 2D dengan bantuan teknologi komputer. Teknologi tersebut telah diklaim sebagai penemuan terbesar dalam bidang radiologi setelah sinar-X yang telah ditemukan oleh Roentgen di tahun 1895 (Robert Ciarniak, 2011). Beberapa jenis sistem diagnostik non-invasive selanjutnya berkembang untuk mencitrakan organ tubuh terkait dengan diagnostik organ tubuh yang lain. Sistem tersebut diantaranya adalah pemindai CT sinar-X, *Positron Emission Tomography* (PET), *Single Photon Emission computed tomography* (SPECT), dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang telah menghasilkan citra dengan resolusi dan akurasi tinggi.

Pemindai CT sinar-X, PET dan SPECT menggunakan radiasi sinar-X atau radionuklida dan sistem deteksi yang sangat kompleks. Akumulasi radiasi pengion dapat membahayakan tubuh manusia (Yixiong Su, et.al, 2005). Sistem MRI menggunakan medan magnetik yang sangat kuat, sehingga sistem ini juga memerlukan perangkat yang cukup kompleks untuk membangkitkan dan mendeteksi medan magnetik dari radio frekuensi (Roberto T. Blanco, et.al., 2005).

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa tomografi impedansi elektrik telah sukses dicoba pada beberapa kasus diantaranya adalah paru-paru untuk diagnosis massa pulmonari (Kimura, S., et. al., 1994), pencitraan impedansi ventilasi paru-paru (Andi Adler, et.al., 1996), mendeteksi anatomi fisiologis dan distribusi regional ventilasi paru-paru (Jose Hinz, et.al., 2003), mendeteksi fungsi diastolik ventrikular kanan dalam pasien COPD (*chronic obstructive pulmonary disease*) (Anton Vonk Noordegraaf, et.al., 1997) dan monitoring resistivitas paru-paru (S. Zlochiver, et.al., 2007).

Meskipun sistem TIE telah sukses diuji pada beberapa kasus organ paru-paru, namun hingga saat ini masih memiliki keterbatasan yang terus diperbaiki. Keterbatasan tersebut adalah rendahnya resolusi citra yang diperoleh. Kekurangan yang lain adalah terdistribusinya ke segala arah arus elektrik yang diinjeksikan pada objek, yang menyebabkan data potensial di elektroda permukaan objek kurang sensitif sehingga menghasilkan kondisi *ill-posed*.

Beberapa studi telah dilakukan untuk mendeteksi anomali objek, diantaranya adalah neural network untuk mendeteksi anomali paru-paru di dalam rongga dada (V.K. Pandey and Ben. Clausen, 2011), melakukan variasi frekuensi arus elektrik untuk mendeteksi anomali jaringan tubuh (Jin Keun Seo, et.al., 2009) dan ekstrak pola data potensial elektrik sebagai informasi distribusi konduktivitas lokasi dan ukuran anomali (Jeong Rock Yoon, et.al., 2003).

Paru-paru manusia mempunyai resistivitas yang berbeda antara kondisi ekspirasi dan inspirasi

atau antara paru-paru normal dan abnormal. Studi yang diusulkan adalah menggunakan metode rekonstruksi proyeksi balik untuk mendeteksi keberadaan anomali paru-paru dengan cara merekonstruksi data relatif antara kondisi ekspirasi dan inspirasi atau paru-paru normal dan abnormal.

Tomografi impedansi elektrik

Tomografi impedansi elektrik adalah teknik untuk memperoleh distribusi sifat elektrik objek. Teknik ini bekerja dengan melakukan injeksi arus elektrik melalui elektroda pada permukaan objek dan melakukan pengukuran potensial elektrik antar elektroda. Selanjutnya data arus dan potensial elektrik yang terukur dapat dilakukan proses rekonstruksi untuk memperoleh distribusi resistivitas objek.

A. Problema Maju

Problema maju adalah prakiraan distribusi potensial elektrik di permukaan objek ketika rapat arus elektrik diinjeksikan pada objek model yang diketahui distribusi konduktivitasnya. Jika tidak terdapat sumber arus elektrik di dalam objek dan distribusi konduktivitas diketahui, maka distribusi potensial elektrik di dalam objek dapat dinyatakan dengan persamaan laplace,

$$\nabla \cdot \frac{1}{\rho} \nabla \Phi = 0 \quad \text{in } \Omega \quad (1)$$

dengan kondisi batas potensial dan rapat arus elektrik pada permukaan objek,

$$\Phi = \Phi_0 \quad \text{on } \partial\Omega \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial n} = J_0 \quad \text{on } \partial\Omega \quad (3)$$

dengan ρ adalah resistivitas, Φ adalah distribusi potensial elektrik di dalam objek, Φ_0 adalah potensial pada bidang batas dan J_0 adalah rapat arus elektrik pada bidang batas serta n adalah notasi vektor normal yang tegak lurus terhadap bidang batas. Persamaan (1),(2) dan (3) dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga, dengan membagi objek menjadi elemen-elemen kecil segitiga dan mengasumsikan bahwa masing-masing elemen segitiga memiliki sifat elektrik homogen dan isotropis. Metode elemen hingga dapat menghasilkan sistem persamaan aljabar linier,

$$YU = C \quad (4)$$

dengan Y adalah matriks admitansi, yang merupakan fungsi geometri dan distribusi resistivitas, U adalah vektor potensial elektrik dan C adalah vektor arus elektrik. Selanjutnya seluruh titik potensial dapat diperoleh dengan melakukan manipulasi pada persamaan (4),

$$U = Y^{-1}C \quad (5)$$

B. Problema Inversi

Problema inversi adalah menghitung distribusi resistivitas objek dengan mengukur potensial dan arus elektrik dari permukaan luar objek. Beberapa metode solusi inversi telah ditawarkan yang secara umum dapat dikelompokkan

menjadi dua, yaitu berbasis optimisasi dan linierisasi (Li Yaqin, 2010). Metode optimisasi dapat menghasilkan citra statik yang merupakan informasi distribusi resistivitas absolut. Kesuksesan metode optimisasi tergantung pada tepat tidaknya geometri model yang dipilih dan geometri objek sesungguhnya. Karena hal itu akan berpengaruh pada hasil solusi problema maju dan data potensial elektrik (Andrea Borsic, 2002). Metode ini memerlukan waktu yang lebih lama dikarenakan selama rekonstruksi memerlukan proses iterasi, namun akan menghasilkan citra rekonstruksi yang akurat. Metode Newton-Raphson adalah salah satu contoh metode optimisasi. Metode ini menyelesaikan problema inversi dengan cara melakukan iterasi dari hubungan non linier antara resistivitas dan data potensial elektrik (R.H. Bayford, 2006).

Metode berbasis linierisasi dapat menghasilkan citra relatif yang merefleksikan perubahan fungsi fisiologis (J. Zhang, et.al, 2002). Solusi linier mengasumsikan bahwa perubahan kecil distribusi resistivitas akan merubah secara linier potensial batas (Andrea Borsic, 2002) (X.Y. Chen, et.al, 2011). Algoritma rekonstruksi yang digunakan untuk menyelesaikan metode linier dikenal sebagai proyeksi balik (R.H. Bayford, 2006). Algoritma tersebut sangat efisien dan dapat bekerja dengan cepat. Algoritma tersebut didasarkan pada metode koleksi data bertetangga dan garis ekuipotensial pada objek lingkaran. Metode ini memerlukan dua set data potensial batas. Satu set data referensi V_{ref} , diukur dari kondisi distribusi konduktivitas seragam dan satu set data lain V yang diukur setelah perubahan terjadi dalam distribusi konduktivitas. Algoritma proyeksi balik didasarkan pada garis ekuipotensial yang ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut (Santosa, F. and Vogelius, M., 1990), (Guizhi Xu, et.al., 2005), (B.M. Eyuboglu, et.al., 1989),

$$[\delta\rho_n]_{(px1)} = [F]_{(pxp)}[B]_{(pxq^2)}[\delta V_n]_{(q^2x1)} \quad (6)$$

dengan p adalah jumlah elemen, q adalah jumlah elektroda, $[B]$ adalah operator proyeksi balik, $[F]$ adalah representasi dari matriks filter, $[\delta V_n]$ adalah potensial relatif terhadap referensi, dan $[\delta\rho_n]$ adalah distribusi resistivitas relatif.

Metode linierisasi mengasumsikan bahwa perubahan potensial batas adalah fungsi linier terhadap perubahan resistivitas (Jeong Rock Yoon, et.al., 2003) dan (R.H. Bayford, 2006). Hubungan antara perubahan ini diberikan dalam bentuk vektor berikut,

$$[\delta V]_{(q^2x1)} = [S]_{(q^2xp)}[\delta\rho]_{(px1)} \quad (7)$$

dengan $[\delta V]$ adalah perubahan potensial batas, $[S]$ adalah matriks sensitivitas, dan $[\delta\rho]$ adalah perubahan distribusi resistivitas. Matriks sensitivitas $[S]$ dapat diperoleh dengan melakukan variasi $\delta\rho$ pada seluruh elemen dalam persamaan (5) dengan

mengikuti langkah-langkah (B.M. Eyuboglu, et.al., 1989),

- asumsikan bahwa resistivitas masing-masing elemen p adalah $[\rho_0]_{(p \times 1)}$
- gunakan solusi problema maju dalam persamaan (6) untuk memperoleh potensial batas $[V_0]_{(q^2 \times 1)}$
- ubah resistivitas elemen ke- i menjadi $\rho_0 + \delta\rho$
- ulangi langkah (b) untuk memperoleh potensial batas $[V_i]_{(q^2 \times 1)}$ dari elemen ke- i .
- ulangi langkah (c) hingga (d) dari seluruh p elemen
- bentuk matriks $[\delta V]_{(q^2 \times p)}$ yang merupakan matriks $[V_i - V_0]_{(q^2 \times p)}$

Matriks $[\delta V]_{(q^2 \times p)}$ adalah matriks $[S]_{(q^2 \times p)}$ karena $[\delta\rho]_{(p \times p)} = [I]_{(p \times p)}$. Matriks $[S]$ tidak tergantung pada ρ_0 atau $\delta\rho$. Setelah matriks $[S]$ diperoleh. Dengan melakukan manipulasi aljabar pada persamaan (7), akan diperoleh.

$$[\delta\rho]_{(p \times 1)} = ([S]^T [S])_{(p \times p)}^{-1} [S]_{(p \times q^2)}^T [\delta V]_{(q^2 \times 1)} \quad (8)$$

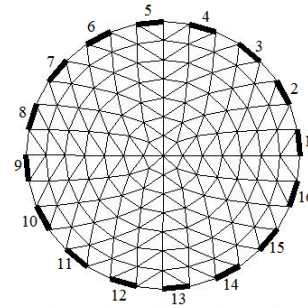
Pada umumnya, $[S]^T [S]$ adalah matriks singular. Sehingga, matriks tersebut tidak memiliki inversi. Regularisasi Tikhonov dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus tersebut, sehingga solusi regularisasi linier diberikan oleh,

$$[\delta\rho]_{(p \times 1)} = ([S]^T [S] + \alpha I)_{(p \times p)}^{-1} [S]_{(p \times q^2)}^T [\delta V]_{(q^2 \times 1)} \quad (9)$$

dengan α adalah parameter regularisasi dan I adalah matriks identitas. Pada persamaan (9), nampak bahwa $[S]^T$ dan $([S]^T [S] + \alpha I)^{-1}$ adalah identik dengan $[B]$ dan $[F]$ pada persamaan (6).

METODE

Studi ini dilakukan dengan membangun kode program untuk menyelesaikan problema maju untuk memperoleh data potensial dan membangun kode program rekonstruksi metode proyeksi balik. Dalam studi ini digunakan metode koleksi data bertetangga dikarenakan paling sederhananya sistem peralatan yang digunakan. Model elemen yang digunakan terdiri dari 141 titik simpul dan 248 elemen segitiga dimana dua titik simpul dihubungkan sebagai elektroda pada permukaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model elemen hingga dengan 141 simpul, 248 elemen dan 16 posisi elektroda

Objek numerik rongga dada dibangun menyerupai model dua dimensi pada Gambar 2. Dalam studi ini diasumsikan bahwa rongga dada berbentuk lingkaran dengan organ di dalamnya terdiri dari jantung, paru-paru, jaringan lunak dan tulang belakang. Paru-paru memiliki resistivitas 12.5 Ωm saat ekspirasi dan 25 Ωm saat inspirasi, sementara organ lain memiliki resistivitas konstan yang ditampilkan pada Tabel I.

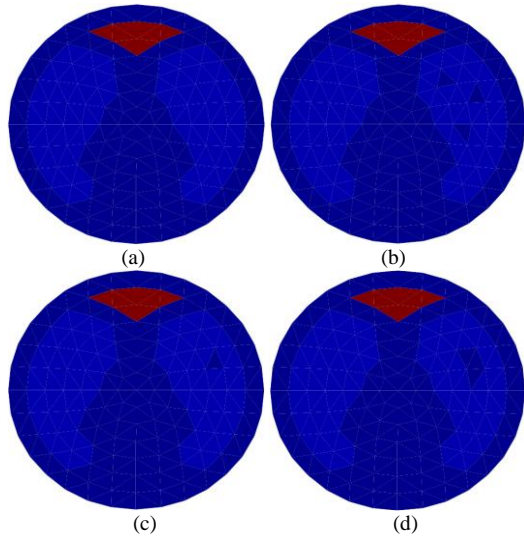


Gambar 2. Gambar 2D dari model rongga dada (Anton Vonk Noordegraaf et.al., 1997)

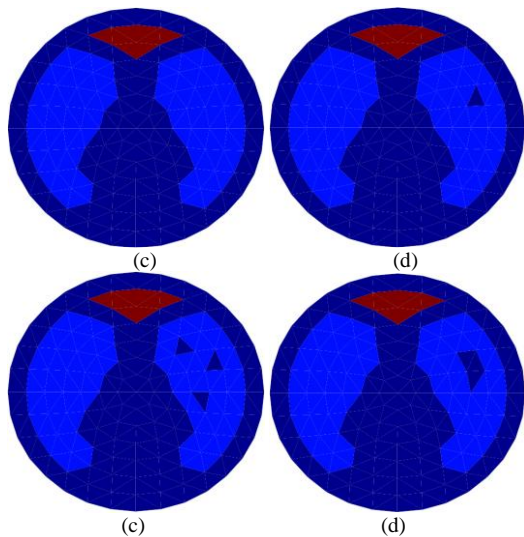
TABEL I. RESISTIVITAS ORGAN DALAM RONGGA DADA (J. Riera, et.al., 2011)

Organ	Resistivitas (Ωm)
Jantung	1.5
Paru-paru	12.5 (expiration)
	25 (inspiration)
Jaringan lunak	3
Tulang belakang	160

Empat objek numerik rongga dada saat ekspirasi dan inspirasi dibangun dari Tabel I. Masing-masing mewakili kondisi paru-paru normal, paru-paru dengan sebuah anomali kecil, paru-paru dengan tiga buah anomali kecil dan paru-paru dengan sebuah anomali besar. Ukuran masing-masing anomali dibandingkan dengan ukuran paru-paru adalah sebanding dengan 1% dan 3%. Kedelapan objek numerik ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Rongga dada numerik pada saat ekspirasi
(a) paru-paru normal (b) paru-paru dengan sebuah anomali kecil (c) paru-paru dengan tiga buah anomali kecil (d) paru-paru dengan sebuah anomali besar



Gambar 4. Rongga dada numerik pada saat inspirasi
(a) paru-paru normal (b) paru-paru dengan sebuah anomali kecil (c) paru-paru dengan tiga buah anomali kecil (d) paru-paru dengan sebuah anomali besar

Data potensial objek diperoleh dari solusi problema maju. Data potensial tersebut selanjutnya dianalisis dengan cara membandingkan antara data potensial elektrik paru-paru normal dan abnormal pada kondisi ekspirasi maupun inspirasi. Perbandingan dilakukan dengan menghitung RMSE antara potensial elektrik paru-paru normal dan abnormal.

RMSE mengukur kesamaan dua distribusi data. Semakin kecil RMSE, maka semakin mirip kedua distribusi data tersebut. Secara matematis, RMSE dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$RMSE = \frac{1}{(D_{max} - D_{min})} \left[\sqrt{\frac{\sum (D_{rec}(i) - D_{ref}(i))^2}{N}} \right] \times 100\% \quad (15)$$

D_{rec} = data

D_{ref} = referensi

D_{max} = referensi maksimum

D_{min} = referensi minimum

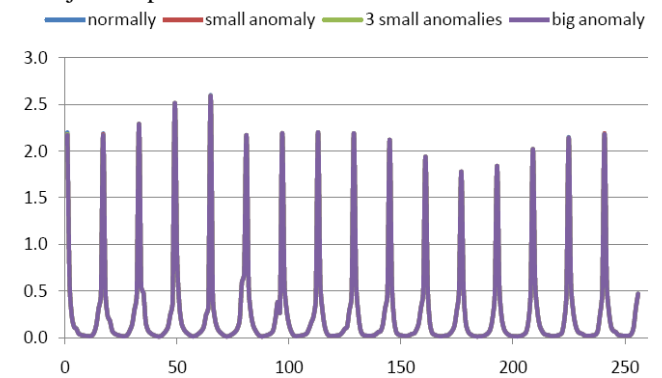
N = jumlah data

Data potensial selanjutnya direkonstruksi dengan metode proyeksi balik. Analisis dilakukan secara visual dengan mengamati citra rekonstruksi saat ekspirasi maupun inspirasi serta kondisi paru-paru normal dan abnormal.

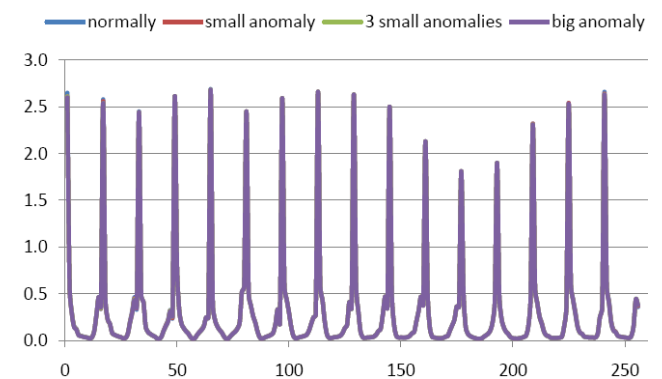
HASIL DAN DISKUSI

A. Solusi Problema maju objek numerik rongga dada dengan metode koleksi data bertetangga

Metode elemen hingga digunakan untuk membangun kode program dari solusi problema maju dari persamaan (1), (2), (3), (4) dan (5). Kode tersebut digunakan untuk memperoleh data potensial dari objek numerik pada Gambar 3 dan 4. Data potensial rongga dada pada kondisi ekspirasi dan inspirasi dengan metode koleksi data bertetangga ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Data potensial dari koleksi data bertetangga pada kondisi paru-paru ekspirasi



Gambar 6. Data potensial dari koleksi data bertetangga pada kondisi paru-paru inspirasi

Secara numerik, solusi problema maju saat kondisi ekspirasi dan inspirasi dibandingkan terhadap data potensial paru-paru normal sebagai referensi. Hasil perbandingan tersebut ditampilkan pada Tabel II.

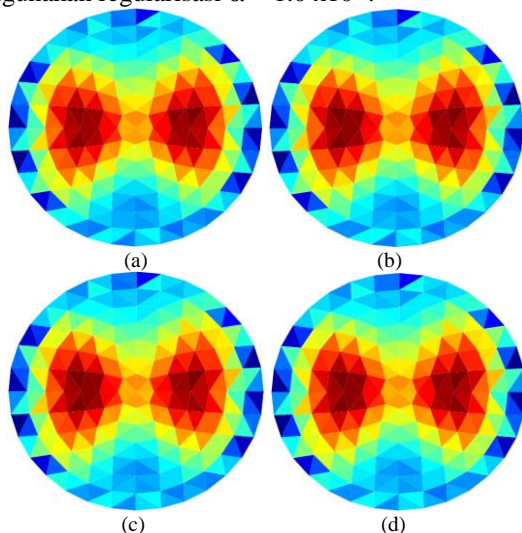
TABEL II. RMSE POTENSIAL ELEKTRIK PARU-PARU ABNORMAL TERHADAP PARU-PARU NORMAL

	RMSE (%)		
	Sebuah anomali kecil	Tiga buah anomali kecil	Sebuah anomali besar
Ekspirasi	0,4624	0,9281	1,1362
Inspirasi	1,1123	2,0929	2,2218

Tabel II menunjukkan bahwa abnormalitas objek akan lebih mudah teramati ketika kondisi paru-paru sedang inspirasi jika dibandingkan saat ekspirasi, hal ini ditunjukkan dengan tingginya nilai RMSE yang diperoleh.

B. Rekonstruksi proyeksi balik

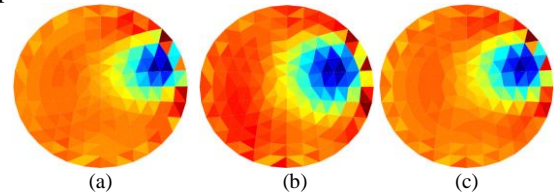
Kode program rekonstruksi dibangun dari persamaan (9). Kode program tersebut digunakan untuk merekonstruksi data potensial numerik dari problema maju pada Gambar 5 dan 6. Dengan menggunakan data pada kondisi inspirasi dan ekspirasi sebagai referensi, citra rekonstruksi dapat diperoleh seperti pada Gambar 7. Dalam studi ini digunakan regularisasi $\alpha = 1.0 \times 10^{-2}$.



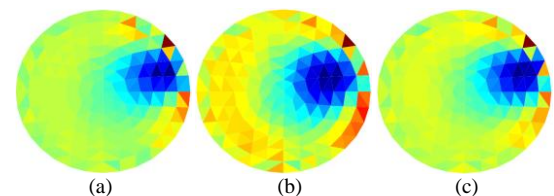
Gambar 7. Citra rekonstruksi dari (a) paru-paru normal (a) paru-paru dengan sebuah anomali kecil (b) paru-paru dengan tiga buah anomali kecil (c) paru-paru dengan sebuah anomali besar

Secara visual, Gambar 7 tidak menunjukkan adanya perbedaan antara paru-paru normal dan abnormal dalam rongga dada. Namun jika data potensial direkonstruksi dari data paru-paru

abnormal dan normal sebagai referensi, maka anomali paru-paru dapat teramati seperti ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Citra rekonstruksi dari V = anomali saat ekspirasi dan V_{ref} = normal saat ekspirasi (a) sebuah anomali kecil (b) tiga buah anomali kecil (c) sebuah anomali besar



Gambar 9. Citra rekonstruksi dari V = anomali saat inspirasi dan V_{ref} = normal saat inspirasi (a) sebuah anomali kecil (b) tiga buah anomali kecil (c) sebuah anomali besar

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa anomali paru-paru ditandai dengan warna biru. Secara visual tidak nampak adanya perbedaan antara sebuah anomali kecil, tiga buah anomali kecil dan sebuah anomali besar. Dari hasil rekonstruksi menunjukkan bahwa metode ini masih terbatas hanya mampu menunjukkan keberadaan dan posisi anomali.

KESIMPULAN

Anomali di dalam paru-paru tidak dapat ditentukan melalui analisis data potensial elektrik, namun dapat diketahui bahwa anomali paru-paru lebih nampak jika analisis dilakukan pada saat kondisi paru-paru inspirasi. Keberadaan anomali di dalam paru-paru tidak dapat ditentukan melalui analisis citra rekonstruksi proyeksi balik dari data relatif antara kondisi ekspirasi dan inspirasi. Namun rekonstruksi proyeksi balik dari data relatif antara kondisi normal dan abnormal baik inspirasi maupun ekspirasi dapat mendeteksi keberadaan dan posisi anomali paru-paru dengan ukuran minimal 1% dari ukuran total paru-paru.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Adler, Robert Guardo and Yves Berthiaume, (1996), *Impedance imaging of lung ventilation : Do we need to account for chest expansion*, IEEE, Transaction on Biomedical Engineering, Vol. 43, No.4, pp. 414 – 420.

- Andrea Borsic, (2002), *Regularisation methods for imaging from electrical measurements*, A thesis of Philosophy Doctor, Oxford Brookes University.
- Anton Vonk Noordegraaf; Theo J. C. Faes; Andre Janse; Johan T. Marcus; Jean G. F. Bronzwaer; Pieter E. Postmus; and Peter M. J. M. de Vries, (1997), *Noninvasive assessment of right ventricular diastolic function by electrical impedance tomography*, CHEST, the official journal of the American College of Chest Physicians.
- B.M. Eyuboglu, B.H. Brown and D.C. Barber, (1989), *Limitations to SV determination from APT images*, IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 1th Annual International Conference.
- Guizhi Xu, Shuai Zhang, Huanli Wu, Shuo Yang, Duyan Geng, Weili Yan and Mingshi Wang, (2005), *The acquisition hardware system with direct digital synthesis and filtered back-projection imaging in electrical impedance tomography*, Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, China.
- Jose Hinz, Peter Neumann, Taras Dudykevych, Lars Goran Andersson, Hermann Wrigge, Hilmar Burchardi and Goran Hedenstierna, (2003), *Regional ventilation by electrical impedance tomography*, Journal of the American College of Chest Physicians Vol.124, Issue 1, pp. 314 – 322.
- Jin Keun Seo, Bastian Harrach and Eung Je Woo, (2009), *Recent progress on frequency difference electrical impedance tomography*, ESAIM: Proceedings, Vol. 26, pp. 150-161.
- J. Riera, P.J. Riu, P. Casan, J.R. Masclans, (2011), *Electrical impedance tomography in acute lung injury*, Med Intensiva. Vol. 35, Issue 8, pp. 509 – 517.
- J. Zhang, R. P. Patterson, A. V. Kogenevsky, (2002), *Comparison and analysis of electrical impedance tomographic images reconstructed using two algorithms*, Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference.
- Jeong Rock Yoon, Jin Keun Seo, Eung Ji Woo and Young G Cho, (2003), *Estimation of anomaly location and size using electrical impedance tomography*, Biomedical Engineering, IEEE Transaction, Vol.50, Issue 1, pp.89 – 96.
- Kimura, S., Morimoto, T., Uyama, T., Monden, Y., Kinouchi, Y., and Iritani, T., (1994), *Application of electrical impedance analysis for diagnosis of a pulmonary mass*, Journal of the American College of Chest Physicians, Vol.105, pp. 1679-1682.
- Khusnul Ain, Deddy Kurniadi, Supriyanto, Oerip Santoso, R. Arif Wibowo, (2012), *Forward problems solution as the operator of filtered and back projection matrix to reconstruct the various method of collecting data and the object element model in electrical impedance tomography*, Presented in The 5th Asian physics symposium, ITB, Bandung.
- Li Yaqin, (2010), *A novelty dynamic image reconstruction algorithm in electrical impedance tomography based on nachman theory*, International Forum on Information Technology and Applications.
- R.H. Bayford, (2006), *Bioimpedance tomography (electrical impedance tomography)*, Annual Review of Biomedical Engineering, Vol. 8.
- Robert Ciarniak, (2011), *X-ray computed tomography in biomedical engineering*, Springer-Verlag, London.
- Roberto T. Blanco, Risto Ojala, Juho Kariniemi, Jukka Perala, Jaakko Niinimäki, Osmo Tervonen, (2005), *Interventional and intraoperative MRI at low field scanner-a review*, European Journal of Radiology, Vol. 56, pp. 130-142.
- Santosa, F. and Vogelius, M., (1990), *Backprojection algorithm for electrical impedance imaging*, SIAM Journal on Applied Mathematics, vol.50, No. 1, pp.216 – 243.
- S. Zlochiver, M. Arad, M.M. Radai, D. Barak-Shinar, H. Krief, T. Engelman, R. Ben Yehuda, A. Adunsky, S. Abboud, (2007), *A portable bio-impedance system for monitoring lung resistivity*, Medical Engineering & Physics, Vol. 29, pp. 93–100.
- V.K. Pandey and Ben Clausen, (2011), *Intelligent systems based anomaly detection in thoracic region by electrical impedance tomography technique*, Ganpat University Journal Of Engineering & Technology, Vol.1, Issue 1, pp. 1-3.
- X.Y. Chen, H.X. Wang, J. C. Newell, (2011), *Lung ventilation reconstruction by electrical impedance tomography based on physical information*, Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, IEEE Computer Society.
- Yixiong Su, Fan Zhang, Kexin Xu, Jianquan Yao and Ruikang K Wang, (2005), *A*

*photoacoustic tomography system for
imaging of biological tissues*, J. Phys. D:
Appl. Phys., Vol. 38, pp. 2640–2644.

PEMODELAN GAYA BERAT UNTUK MENDETEKSI KEBERADAAN SESAR DI PULAU LOMBOK

Suhayat Minardi¹, Teguh Ardianto², Alfina Taurida Alaydrus³

^{1,2,3} Program Studi Fisika Universitas Mataram

Email : suhayat.minardi@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan pemodelan untuk mendeteksi keberadaan sesar di Pulau Lombok khususnya di Kabupaten Lombok Tengah dan Kabupaten Lombok Timur dengan menggunakan metode gayaberat. Data gayaberat yang dipergunakan adalah data Complete Bouguer Anomaly (CBA) sekunder yang dikeluarkan oleh Bureau Gravimetrique International/International Gravimetric Bureau tahun 2012. Pemisahan anomaly dilakukan dengan metode polynomial fitting dan hasil pemodelannya diverifikasi dengan hasil penapisan second vertical derivative (SVD) dan peta geologi lembar Lombok dan Sumbawa yang dikeluarkan oleh P3G Bandung tahun 1994. Hasil pemodelan memperlihatkan keberadaan sesar di Pulau Lombok yang membentang dari Kabupaten Lombok Tengah hingga Kabupaten Lombok Timur

Kata kunci: metode gayaberat, polynomial fitting, pemodelan, Pulau Lombok, sesar, SVD

PENDAHULUAN

Daerah penunjaman oleh lempeng Indo-Australia memanjang di sebelah Barat Pulau Sumatera, sebelah Selatan Pulau Jawa hingga ke Bali dan Kepulauan Nusa Tenggara bergerak ke utara sekitar 50-70 mm/tahun (Pasau dan Tanauma, 2011). Tatanan geologi Indonesia ini menyebabkan seringnya terjadi gempa bumi di berbagai wilayah Indonesia khususnya di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat, yang secara geografis terletak pada pertemuan dua lempeng tektonik besar yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Pergerakan lempeng inilah yang menjadi pemicu teraktifkannya sesar-sesar yang melintasi sebagian besar daerah pulau Lombok. Jika sesar-sesar ini menjadi aktif maka daerah yang dilewatinya menjadi rawan terjadinya gempa bumi (Kertapati, 2006).

Sesar atau patahan terjadi karena adanya pergeseran lapisan bumi dari kondisi normalnya. Patahan yang gerakannya berhenti sama sekali disebut sesar tidak aktif, sedangkan patahan yang gerakannya terus berangsung disebut sebagai sesar aktif. Sesar pasif atau non-aktif dapat aktif kembali akibat pengaruh di sekitarnya, misalnya karena pengaruh gunung merapi atau aktifitas kegempaan lainnya. Oleh karena itu baik sesar aktif maupun sesar tidak aktif tetap perlu mendapatkan perhatian khusus dan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai keberadaannya, terutama sesar – sesar yang ada di pulau Lombok yang sampai saat ini masih kurang mendapatkan perhatian.

Pulau Lombok mempunyai struktur geologi yang terbagi dalam 3 zona, pegunungan, perbukitan, dan dataran rendah. Tentunya dengan tatanan geologi seperti ini, pulau Lombok memiliki sesar-sesar pada lempengan-lempengan lapisan dibawah permukaan bumi. Salah satu pendugaan sesar yang ada adalah sesar Lombok. Pendugaan sesar Lombok merupakan sesar yang panjang (± 75 km) berarah Timurlaut-Baratdaya, sedang sesar-sesar lainnya berarah Baratlaut-Tenggara dan sedikit jumlahnya hampir berarah Utara-Selatan (Manurung dan Karno, 1997).

Yoshida, dkk (1999), telah melakukan penelitian tentang perubahan nilai gayaberat akibat

gempa swarn di Jepang tahun 1997 yang menunjukkan adanya perubahan nilai gayaberat yang disebabkan oleh pergerakan lempeng dan perubahan densitas akibat pergerakan magma dan dinamika air tanah. Penelitian tentang gayaberat mikro antarwaktu untuk pemantauan telah berkembang pesat sejak tahun 2000, seiring dengan peningkatan dari ketelitian gravimeter yang sudah mencapai orde microGal. Perubahan anomaly gayaberat yang kecil akibat dinamika bawah permukaan akan dapat diamati oleh gravimeter yang ada (Sarkowi, dkk 2005). Metode gayaberat mikro antarwaktu di Indonesia telah diaplikasikan untuk pemantauan dinamika air tanah, pemantauan amblesan tanah, pemantauan EOR, pemantauan geothermal dan pemantauan CBM (Sarkowi, 2009).

Tujuan utama jangka panjang dari penelitian ini adalah mengembangkan metode gayaberat mikro antarwaktu untuk pemantauan proses pergerakan lempeng penyebab gempabumi dan mengetahui karakteristik anomaly gayaberat mikro antarwaktu yang muncul akibat proses tersebut, sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai langkah awal untuk prediksi (*percusore*) gempa. Sedangkan tujuan jangka pendeknya adalah memodelkan dan mensimulasikan sesar menggunakan data gayaberat mikro antar waktu.

Pemodelan adalah proses untuk menghubungkan data lapangan dengan parameter fisis dari batuan atau struktur geologi. Pemodelan terdiri atas pemodelan ke depan (*forward modelling*) dan pemodelan ke belakang (*inverse modelling*). Suatu usaha untuk menghasilkan (menghitung) data berdasarkan parameter yang sudah diketahui (struktur geologi) termasuk dalam pemodelan ke depan. Sebuah struktur patahan (sesar) memiliki dua buah blok yang masing-masing bergerak relative terhadap satu sama lain, sehingga pada lintasan yang metong sesar tersebut akan memberi respon gayaberat yang berbeda pada kedua bloknya.

Simulasi dilakukan guna mengetahui karakteristik respon anomaly gayaberat mikro antarwaktu akibat proses gempabumi. Gempa bumi yang terjadi di Pulau Lombok umumnya disebabkan

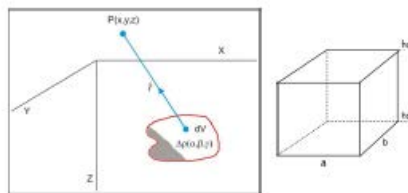
oleh : pergerakan sesar, subduksi dan gempa bumi. Untuk itu simulasi yang akan dilakukan mencakup ketiga model diatas, yaitu : Respon gayaberat mikro antarwaktu akibat gempabumi yang disebabkan oleh aktivitas sesar, baik sesar geser, sesar naik ataupun sesar turun. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model benda 3D berbentuk prisma. Apabila suatu massa 3 dimensi bentuk sembarang terdistribusi secara kontinyu dengan rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$ seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**, potensial gayaberat di titik P (x,y,z) di atas dan di luar distribusi rapat massa tersebut diberikan oleh (Kadir, 2004) :

$$U_{(x,y,z)} = K \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma$$

Komponen gayaberat vertikal akibat distribusi rapat massa diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan 1 terhadap z :

$$\Delta g_z = -\frac{\partial U_{(x,y,z)}}{\partial z}$$

$$= -K \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha,\beta,\gamma)(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{5/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma$$



Gambar 1. Efek potensial gayaberat di titik P dan model benda kubus

Pendekatan perhitungan respon gayaberat dengan menggunakan benda prisma sisi tegak dengan spasi Δx dan Δy merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan, kesesuaian model benda di lapangan bergantung pada jumlah dan dimensi prisma yang disusun. Dengan mengambil lebar sisi horisontal a dan b pada arah a dan b, kedalaman puncak dan dasar adalah h_t dan h_b , maka komponen vertikal gayaberat pada $z=0$ adalah:

$$\Delta g_z(x,y,0) = K\Delta\rho \int_{h_t}^{h_b} \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{S(\alpha,\beta)\gamma}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha. d\beta. d\gamma$$

dimana :

$$S(\alpha,\beta) = \text{distribusi fungsi undak rectangular}$$

$$= 1 \text{ untuk } \frac{-a}{2} \leq \alpha \leq \frac{a}{2}$$

$$\text{dan } \frac{-b}{2} \leq \beta \leq \frac{b}{2}$$

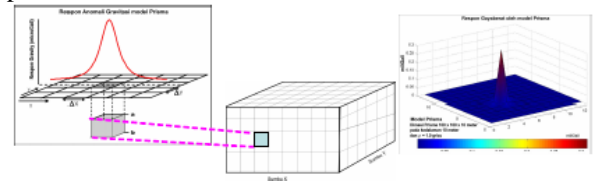
Plouf (1976), menghitung respon gayaberat yang disebabkan oleh model benda berbentuk prisma.

$$g = G\Delta\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_i}{z_k R_{ijk}} - x_i \log(R_{ijk} + y_i) - y_i \log(R_{ijk} + x_i) \right]$$

$$\text{Dimana } R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$$

$$\mu_{ijk} = (-1)^i (-1)^j (-1)^k$$

Perhitungan respon gayaberat model prisma ini disusun menggunakan program MATLAB, contoh respon gayaberat oleh model satu buah prisma ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Respon gayaberat oleh model benda berbentuk prisma

Anomali gayaberat yang terukur di permukaan adalah gabungan anomaly yang diakibatkan oleh satu atau lebih sumber anomaly. Dengan menyusun struktur sesar dari banyak (beberapa) prisma tegak berukuran kecil, maka anomaly yang diakibatkan oleh sesar dapat dihitung.

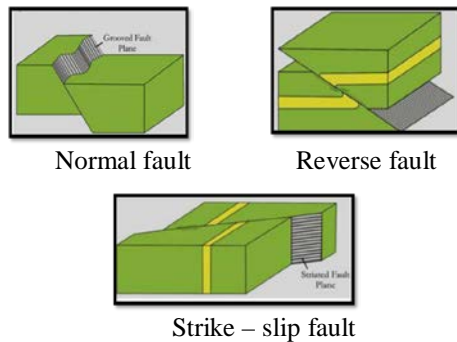
Sesar adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran pada bidang rekahnya. Sesar merupakan patahan/rekahan tunggal atau suatu zona pecahan pada kerak bumi bersamaan dengan terjadinya pergerakan yang cukup besar, paralel terhadap zona rekahan atau zona pecahan tersebut. Selain itu sesar juga berarti bergesernya struktur batuan yang slip satu sama lain di sepanjang bidang atau zona rekahan (Ricardo, 2009).

Sistem patahan dapat menghasilkan pergerakan mendatar, tegak dan berputar dalam kerak bumi. Pada umumnya patahan mengalami beberapa kali peristiwa deformasi yang teraktifkan kembali dalam model tektonik berbeda. Dibawah ini adalah beberapa aspek sistem patahan (Ricardo, 2009) :

1. Patahan adalah struktur dinamik yang berkembang dalam sisi ruang dan waktu.
2. Pada umumnya patahan terjadi dalam sistem yang berhubungan. Hubungan ini biasanya diikuti aturan geometri dan mekanika yang memperbolehkan sistem patahan untuk membentuk pola karakteristik yang dapat dikenali.
3. Deformasi dapat terjadi apabila keseimbangan patahan yang rapuh (brittle faulting) dipermukaan kerak bumi dengan deformasi plastik dibawah kerak plastik dibawah kerak bumi. Kejadian keterkaitan antara atas dan bawah kerak tergantung atas rezim tektonik. Konsep keseimbangan belahan ini merupakan aspek penting dalam menganalisa terrane yang terpatahkan.
4. Kebanyakan patahan permukaannya tidak bidang datar yang sederhana tetapi memperlihatkan bentuk yang kompleks dilihat dalam tiga dimensi. Perubahan dalam bentuk patahan mesti menyebabkan perlunya pandangan secara geometri untuk mengakomodasi struktur dalam bagian hangingwall yang telah bergerak sepanjang variabel permukaan patahan.

Sesar atau patahan adalah rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran melalui bidang rekahnya. Sifat pergeserannya dapat bermacam –

macam: mendatar, miring (*oblique*), naik dan turun. Didalam mempelajari struktur sesar, disamping geometrinya yaitu bentuk, ukuran, arah dan polanya, yang penting juga untuk diketahui adalah mekanisme pergerakannya. Salah satu klasifikasi sesar yang umum digunakan adalah klasifikasi Anderson (dalam Davis dan Reynolds, 1996) yang membagi sesar mengikuti prinsip tegasan utama (Gambar 3).



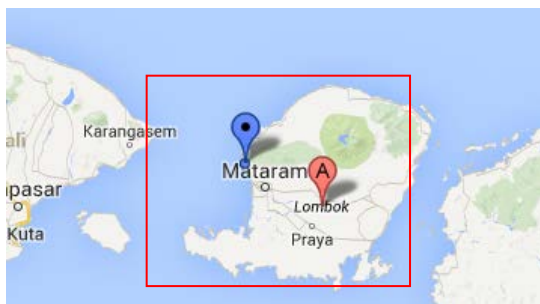
Gambar 3. Klasifikasi sesar menurut Anderson (dalam Davis dan Reynolds, 1996)

Klasifikasi jenis patahan/sesar menurut Anderson (dalam Davis dan Reynolds, 1996) adalah sebagai berikut :

1. Sesar normal (*normal fault*) ialah sesar dimana pegeseran kearah kemiringan bidang adalah dominan dan bagian *hangingwall* bergerak relatif turun dibandingkan bagian *footwall*.
2. Sesar naik (*reverse fault*) mempunyai pegeseran dominan searah kemiringan dimana blok *hangingwall* relatif bergeser kearah atas dibandingkan dengan blok *footwall*.
3. Sesar mendatar (*strike-slip fault*) mempunyai pegeseran dominan searah jurus bidang sesar.

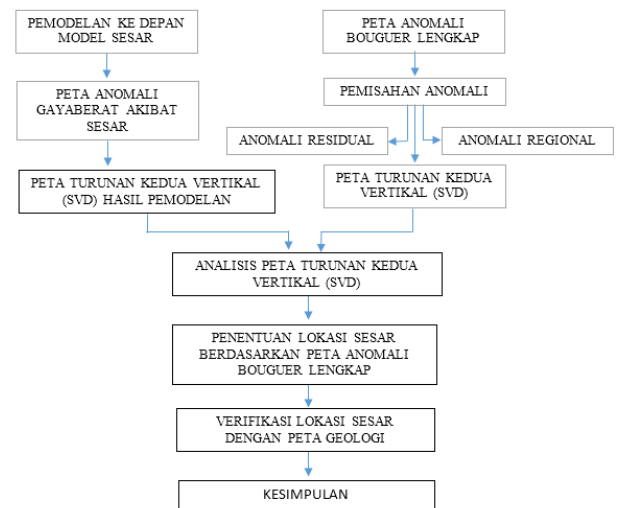
METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian adalah Pulau Lombok dan sekitarnya dengan posisi lintang antara $-8,1^{\circ}$ LS sampai $-9,0^{\circ}$ LS dan bujur antara $115,75^{\circ}$ BT sampai $116,75^{\circ}$ BT. Data merupakan data sekunder yang diunduh dari *Bureau Gravimetrique International* tahun 2012.



Gambar 4. Lokasi penelitian

Tahapan kerja dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 5**. Sebagai verifikasi hasil pemodelan, digunakan peta geologi lembar Lombok dan Sumbawa yang dikeluarkan oleh P3G Bandung tahun 1994

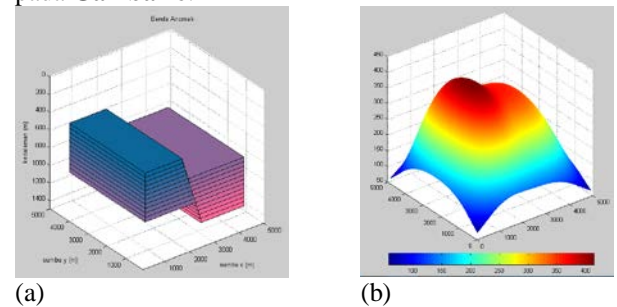


Gambar 5. Urutan langkah kerja penelitian

Perangkat lunak yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Microsoft Excel, surfer, dan Matlab.

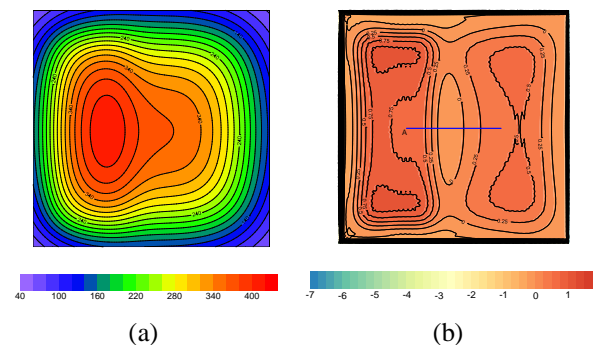
HASIL DAN DISKUSI

Sebagai langkah awal dari penelitian ini adalah pemodelan ke depan (*forward modeling*) untuk menghitung respon anomaly gayaberat. Sebagai contoh adalah sesar turun/sesar normal. Bentuk benda anomaly dan respon anomaly gayaberat 3D-nya ditampilkan pada **Gambar 6**.



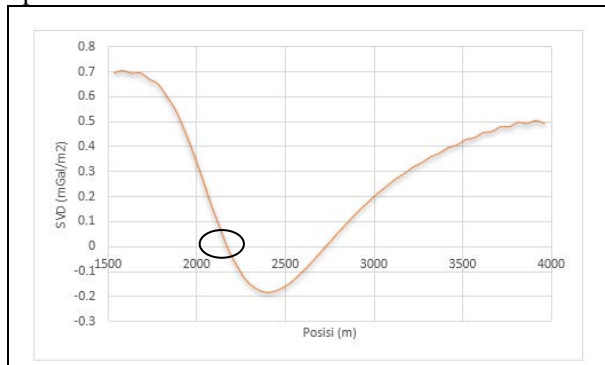
Gambar 6 (a) benda anomaly berupa sesar normal; (b) tampilan respon anomaly gayaberat 3D

Bentuk respon anomaly gaya berat di permukaan dapat digambarkan dalam bentuk kontur (Gambar 7a) dan turunan kedua vertikal (SVD) dari respon anomaly gayaberatnya ditampilkan pada Gambar 7b.



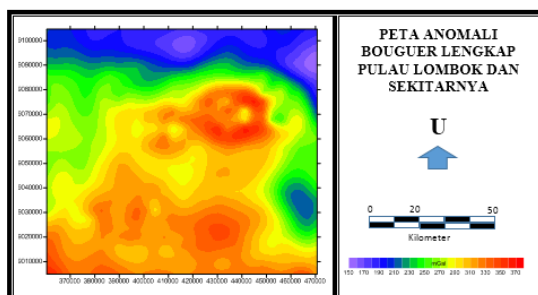
Gambar 7. (a) kontur respon anomaly gayaberat sesar normal; (b) peta turunan kedua vertikal (SVD) respon anomaly gayaberat sesar normal (mGal/m^2)

Penampang melintang turunan kedua vertikal (SVD) area yang dilewati sesar (penampang AA') ditunjukkan pada Gambar 8.

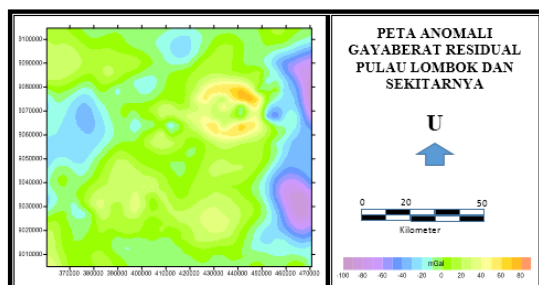


Gambar 8. Penampang melintang (AA') turunan kedua vertikal (SVD).

Data anomali bouguer lengkap (ABL) daerah pulau Lombok dan sekitarnya yang dikeluarkan oleh *Bureau Gravimetrique International/International Gravimetric Bureau* tahun 2012 memperlihatkan anomaly berkisar 120 mGal sampai 370 mGal (Gambar 9). Dengan metode *polynomial fitting* orde 8 anomali dipisahkan menjadi anomaly regional dan residual (Gambar 10).

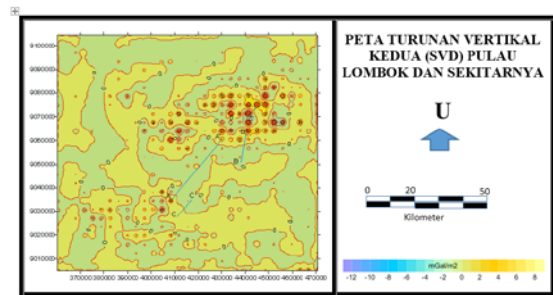


Gambar 9. Peta anomali Bouguer Lengkap daerah Pulau Lombok dan sekitarnya.



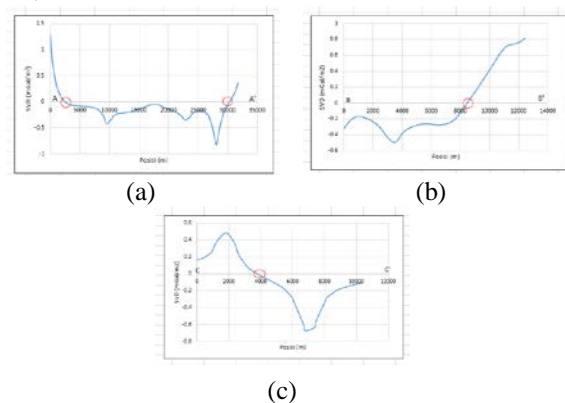
Gambar 10. Peta anomali residual daerah Pulau Lombok dan sekitarnya.

Anomali gayaberat selanjutnya dipisahkan dengan metode turunan olahkedua vertikal (*second vertical derivative*) untuk mengetahui posisi patahan/sesar. Hasil pengolahan SVD ditampilkan pada Gambar 11.



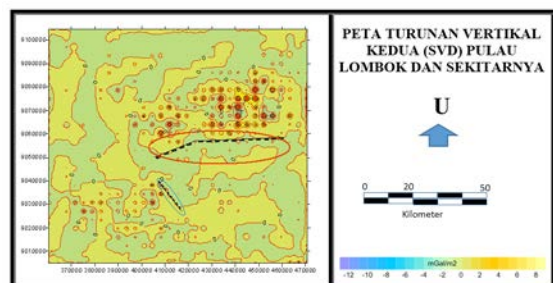
Gambar 11. Peta hasil pengolahan turunan kedua vertikal Pulau Lombok dan sekitarnya.

Posisi sesar dapat ditentukan pada saat turunan kedua vertikal bernilai nol, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Sebagai contoh pada peta SVD dibuat tiga buah penampang, masing-masing penampang AA', BB', dan CC', sebagaimana ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Penampang melintang turunan kedua vertikal (a) penampang AA'; (b) penampang BB'; (c) penampang CC'

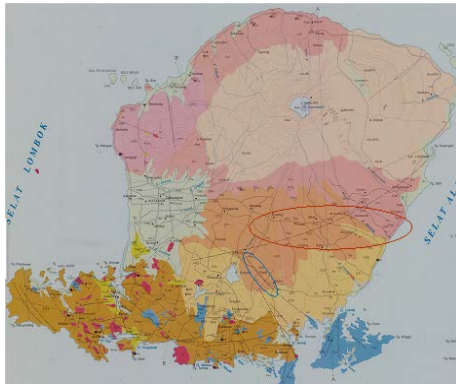
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis SVD pada gambar 8 selanjutnya ditentukan posisi patahan pada peta SVD. Sebagai contoh berdasarkan analisis SVD pada gambar 12, diperoleh adanya patahan/sesar yang relatif berarah Barat – Timur dan Baratlaut – Tenggara, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Contoh hasil analisis SVD untuk menentukan lokasi sesar/patahan

Untuk menguji kebenaran analisis SVD dan hasil pemodelan, maka dilakukan verifikasi dengan menggunakan peta geologi lembar Lombok (Gambar 14). Lokasi patahan yang berhasil dideteksi dari hasil analisis SVD ternyata bersesuaian dengan hasil interpretasi geologi. Sesar yang berarah relative Barat –

Timur (ditandai lingkaran merah) membentang dari Kabupaten Lombok Timur hingga Lombok Tengah



Gambar 14. Peta geologi lembar Lombok (P3G, 1994).

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa hasil pemodelan dan analisis SVD telah berhasil mendeteksi adanya sesar di Pulau Lombok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Mataram atas pendanaan melalui Dana DIPA (PNBP) Universitas Mataram Tahun Anggaran 2014.

DAFTAR PUSTAKA

Bureau Gravimetrique International / International Gravimetric Bureau, 2012, Complete spherical Bouguer gravity anomaly
Kadir W.G.A., Santoso D., dan Sarkowi M (2004) : Time Lapse Vertical Gradient Gravity Measurement for Subsurface Mass

Change and Vertical Ground Movement (Subsidence) Identification, Case Study: Semarang Alluvial Plain, Central Java, Indonesia. Proceedings of The 7th SEGJ International Symposium, Sendai- Japan 24-26 November 2004 p.421-426

Kertapati E., 2006. Aktivitas Gempabumi di Indonesia (Perspektif Regional pada Karakteristik Gempabumi Merusak). Bandung: Pusat Survey Badan Geologi.

Manurung.Y.S dan Karno, 1997. Hasil Eksplorasi Mineral Logam Di Daerah Mataram, Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah, Propinsi Nusa Tenggara Barat. DSM. Bandung.

P3G, 1994, Peta geologi lembar Lombok dan Sumbawa Bandung

Pasau, G., dan A. Tanauma. 2011. Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi. Journal science of MIPA. 7:1-5.

Ricardo, Maranu, 2009, Studi Geologi dan Analisis Sekatan Sesar pada Daerah Seruni, Cekungan Sumatera Tengah, Riau, ITB, Bandung

Sarkowi M., (2009) : Coal Bed Methane Sebagai Energi Alternatif Baru dan Upaya Pemantauan Proses Produksinya. Proceeding Seminar Nasional MIPA 2009, 16-17 November 2009.

Yoshida Shigeo, Gaku Seta, Shuhei Okubo, and Shigeki Kobayashi, 1999. Absolute gravity change associated with the March 1997 earthquake swarm in the Izu Peninsula, Japan. Earth Planets Space, 51, 3–12, 1999

ANALISIS SIFAT HUJAN DI WILAYAH BANDUNG DAN SEKITARNYA BERBASIS OBSERVASI PERMUKAAN DAN SATELIT TRMM

Arief Suryantoro

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer - LAPAN
Jalan Dr. Djundjuran No. 133, Bandung, 40173
email: arief.suryantoro@lapan.go.id,

Abstrak

Sifat hujan yang terkait dengan variasi temporalnya, yang meliputi identifikasi kondisi normal, di bawah dan di atas normal, sampai ke kondisi ekstremnya untuk wilayah Bandung dan sekitarnya berbasis observasi permukaan dan satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dibahas dalam makalah ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik hujan di wilayah Bandung dan sekitarnya, serta mengidentifikasi faktor utama penyebab terjadinya variasi temporal hujan di wilayah yang ditinjau tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa berbasis pada observasi in-situ (permukaan), pada saat normal (tidak ada kejadian El-Niño dan La-Niña) yang bersesuaian dengan periode Desember, Januari dan Februari (DJF) 2003-2004, rata-rata hujan bulanan di wilayah Bandung ($6,53^{\circ}\text{LS}$; $107,36^{\circ}\text{BT}$) adalah 196,67 mm. Nilai normal DJF 2003-2004 ini lebih kecil dibandingkan saat ada kejadian La-Niña kuat pada periode DJF 1999-2000 (212,37 mm), saat ada kejadian El-Niño kuat pada periode DJF 2009-2010 (393,83 mm), maupun pada nilai rata-rata klimatologis DJF 1981-2010 (231,86 mm). Sedang hasil yang berbasis observasi satelit TRMM menunjukkan bahwa, pada saat normal (tidak ada kejadian El-Niño dan La-Niña) yang bersesuaian dengan periode Desember, Januari dan Februari (DJF) 2003-2004, rata-rata hujan bulanan di wilayah Bandung adalah sebesar 231,17 mm. Nilai normal DJF 2003-2004 ini lebih besar dibandingkan saat ada kejadian La-Niña kuat pada periode DJF 1999-2000 (107,00 mm), tetapi lebih kecil bila dibandingkan saat ada kejadian El-Niño kuat pada periode DJF 2009-2010 (461,03 mm), maupun pada nilai rata-rata "klimatologis TRMM" periode DJF 1998-2010 (246,24 mm). Hal ini mengindikasikan bahwa fenomena El-Niño dan La-Niña memberikan dampak yang berkebalikan terhadap akumulasi hujan di Bandung dibandingkan dengan wilayah-wilayah lain di Indonesia. Sebagaimana diketahui, secara umum fenomena La-Niña memberikan dampak terjadinya akumulasi hujan yang lebih besar (terhadap keadaan normalnya) di sebagian besar wilayah Indonesia, dan sebaliknya fenomena El-Niño memberikan dampak terjadinya akumulasi hujan yang lebih kecil (terhadap keadaan normalnya) di sebagian besar wilayah Indonesia.

Kata Kunci: sifat hujan, Bandung, observasi permukaan, satelit TRMM

PENDAHULUAN

Curah hujan yang dikenal masyarakat awam, secara Sains Atmosfer ataupun secara Meteorologi digolongkan sebagai hujan curah. Hujan curah adalah curahan yang terdiri dari tetes air dengan diameter dan intensitas lebih besar dari diameter dan intensitas tetes hujan biasa (yang memiliki ukuran diameter lebih besar dari 0,5 mm dan intensitasnya lebih dari 1,25 mm/jam), dari sistem awan di atmosfer yang sampai ke permukaan bumi, Tjasyono, (2004). Intensitas hujan curah ini besar (lebih dari 1,25 mm/jam), mulai dan berakhir dengan mendadak, dan berlangsung tidak lama. Hujan curah ini disebabkan oleh awan konvektif, yaitu Kumulus, Kumulus Kongestus maupun Kumulonimbus, (Prawirowardoyo, 1996).

Prawirowardoyo, (1996) juga mengungkapkan peran penting dari presipitasi atau curah hujan adalah sebagai perosot (*sink*) utama uap air di troposfer, dan presipitasi ini juga merupakan komponen penting dalam siklus hidrologi yang menghubungkan atmosfer, lautan, dan daratan. Panas laten yang dilepaskan yang menyertai presipitasi di daerah tropis merupakan penggerak utama sirkulasi global atmosfer. Peran lain dari presipitasi atau curah hujan ini adalah sebagai sumber kelembapan tanah jika presipitasi terjadi di atas permukaan daratan, dan sebagai sumber fluks air jernih (*fresh water*) jika presipitasi terjadi di atas permukaan lautan, yang akan merubah distribusi salinitas maupun distribusi densitas di lapisan atas lautan. Perubahan

kelembapan tanah di daratan dan salinitas di lautan, kedua-duanya ini akan berdampak pada perubahan iklim global.

Sampai pada akhir tahun 1997, presipitasi atau curah hujan di daerah tropis global masih memiliki ketidak-pastian yang sangat tinggi dengan sejumlah besar algoritma yang telah dicoba, dibangun dan dikembangkan berdasarkan observasi sensor-sensor satelit IR (*infrared*) maupun radiometer gelombang panjang pasif (*the passive microwave radiometer*), namun masih tetap saja memberikan nilai estimasi presipitasi yang berbeda besar antara satu algoritma dengan algoritma lainnya. Secara lebih rinci dapat diungkapkan, bahwa sebelum era satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), penelitian dan kajian tentang siklus hidrologi masih memberikan nilai ketidak-tentuan (*uncertainties*) terhadap nilai presipitasi yang cukup tinggi, yaitu di atas lautan sekitar 17% dan di atas daratan sekitar 9%, evaporasi di atas lautan sekitar 14% dan di atas daratan sekitar 13%, serta limpasan (*run off*) di atas daratan maupun di atas lautan yang cukup tinggi pula sekitar 30%; Smith et al. (2007) dalam Smith et al. (2008). Namun dalam era satelit TRMM, nilai ketidak-tentuan tersebut menurun, menjadi sekitar 7% untuk presipitasi di atas lautan, dan menjadi sekitar 8% untuk presipitasi di atas daratan. Nilai ketidak-tentuan menurun, menjadi sekitar 16% untuk limpasan (*run off*) di atas daratan maupun di atas lautan.

BMKG, (2014) menyatakan bahwa Benua Maritim Indonesia (BMI) yang terdiri dari ribuan pulau besar dan kecil, dipisahkan oleh banyak laut dan selat, terletak di daerah tropis yang menerima radiasi matahari paling banyak, terletak diantara dua benua yang besar (Asia dan Australia) dan dua lautan yang besar pula (samudera Hindia dan Pasifik) menyebabkan wilayah BMI ini rentan terhadap perubahan iklim/cuaca. Fenomena iklim global seperti El-Niño dan La-Niña, IOD (*Indian Ocean Dipole*), dan fenomena iklim regional seperti sirkulasi monsun dari sistem monsun Asia Timur dan Tenggara, monsun Asia Selatan, monsun Australia Utara, daerah pertemuan angin antar tropis (angin pasat timur laut dan angin pasat tenggara) yang dikenal sebagai DKIT (Daerah Konvergensi InterTropis) atau ITCZ (*Inter Tropical Convergence Zone*) serta suhu muka laut di wilayah Indonesia merupakan faktor utama penyebab terjadinya variabilitas iklim (curah hujan) Indonesia.

Dalam kaitannya dengan variabilitas curah hujan yang terjadi di wilayah BMI, Aldrian dan Susanto (2003) dan Tjasyono (2004) juga menunjukkan bahwa terdapat tiga pola utama curah hujan di BMI, yang kemudian dikenal sebagai pola curah hujan monsun, ekuatorial dan lokal (anti monsun). Pola curah hujan monsun adalah salah satu pola curah hujan yang terdapat di Indonesia, yang memiliki puncak intensitas curah hujan maksimum satu kali dalam satu tahun (uni modal), yang terjadi antara bulan Desember, Januari atau Februari. Pada pola ini, intensitas minimum curah hujan terjadi pada bulan Juni, Juli, atau Agustus. Pola curah hujan ekuatorial adalah pola lain yang terdapat di Indonesia, yang memiliki puncak intensitas curah hujan maksimum dua kali dalam satu tahun (bi-modal), yang terjadi antara bulan Maret, April atau Mei dan pada periode bulan September, Oktober atau Nopember. Jenis pola curah hujan ketiga yang terdapat di Indonesia dikenal dengan nama pola lokal atau pola anti monsun. Pada pola lokal ini, puncak intensitas curah hujan maksimum juga terjadi satu kali dalam satu tahun (uni modal), namun antara bulan Juni, Juli atau Agustus.

Apakah wilayah Bandung dan sekitarnya, yang berada pada posisi geografis 6,68-7,32 °LS; 107,37-108,01 °BT ini juga memiliki pola utama monsun (yang memiliki puncak intensitas curah hujan maksimum satu kali dalam satu tahun (uni modal), yang terjadi antara bulan Desember, Januari atau Februari; serta memiliki intensitas minimum curah hujan terjadi pada bulan Juni, Juli, atau Agustus) sebagaimana diungkap dalam Aldrian dan Susanto (2003) dan Tjasyono (2004). Bagaimana pula sifat hujan yang terkait dengan variasi temporalnya, yang meliputi identifikasi kondisi normal, di bawah dan di atas normal, sampai ke kondisi ekstremnya untuk wilayah Bandung dan sekitarnya berbasis observasi permukaan oleh BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) dalam rentang yang lama/panjang (sentential, 1901-2012) dan satelit TRMM dalam rentang relatif pendek (1998-2012), merupakan dua pertanyaan penting yang ingin dicari jawabannya melalui penelitian ini. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik curah hujan di

Benua Maritim Indonesia (BMI) pada umumnya, dan di wilayah Bandung dan sekitarnya pada khususnya, serta untuk mengidentifikasi kondisi normal, di bawah dan di atas normal, sampai ke kondisi ekstremnya berbasis observasi permukaan dalam rentang yang lama/panjang (sentential, 1901-2012) dan berbasis observasi satelit TRMM dalam rentang relatif pendek (1998-2012) di daerah yang ditinjau tersebut.

DATA DAN METODA

Data utama yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan observasi permukaan oleh BMKG untuk wilayah Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) dalam periode Januari 1901 - Desember 2012. Sumber data curah hujan bulanan observasi permukaan adalah BMKG Jakarta. Data berikutnya adalah data hujan 3B43V6 TRMM untuk wilayah Bandung dan sekitarnya, yang meliputi Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat (6,68-7,32 °LS; 107,37-108,01 °BT) dalam periode Januari 1998 - Desember 2012. Sumber data hujan 3B43V6 TRMM adalah <http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin>. Data selanjutnya (ke tiga) adalah data bulanan suhu muka laut di Samudera Pasifik yang menggambarkan kejadian El-Niño dan La-Niña di wilayah Niño 3.4 (5°LU-5°LS, 120°BB-170°BB) yang dinyatakan dalam bentuk indek yang dikenal sebagai data indek oseanik Niño (*The Oceanic Nino Index*, ONI). Indeks oseanik Niño telah menjadi standar *de-facto* yang digunakan NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*) untuk mengidentifikasi peristiwa / kondisi suhu muka laut di Pasifik tropis yang dikenal sebagai kondisi El Niño (fase hangat) dan La Niña (fase dingin). Sumber data ONI adalah <http://ggweather.com/enso/oni.htm>.

Suryantoro, dkk., (2008) telah memverifikasi ketepatan data curah hujan bulanan observasi satelit TRMM dengan data curah hujan bulanan observasi permukaan (BMKG) untuk beberapa wilayah di Indonesia (Padang, Pontianak, Jakarta dan Manado) yang dianggap telah mewakili wilayah-wilayah Indonesia yang memiliki pola utama curah hujan ekuatorial dan pola utama curah hujan monsun. Secara lebih rinci, Suryantoro, dkk., (2008) menunjukkan adanya pola curah hujan ekuatorial di daerah Padang dan Pontianak; serta adanya pola curah hujan monsun di daerah Manado dan Jakarta. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian yang baik dengan hasil penelitian beberapa peneliti sebelumnya, seperti Tjasyono (2004) dan Aldrian dan Susanto (2003). Selain itu, Suryantoro, dkk., (2008) juga menunjukkan adanya korelasi yang erat/baik ($r = 0,8$) antara curah hujan bulanan yang teramati dari satelit TRMM selama rentang pengamatan 1998-2007 (10 tahun pengamatan) dengan curah hujan bulanan yang teramati dari stasiun meteorologi / klimatologi BMKG. Kesesuaian grid / daerah penelitian untuk kota-kota Sicincin Padang-Sumatera Sumatera Barat (0,54 °LS; 100,30 °BT), Supadio Pontianak-Kalimantan Barat (0,15 °LS; 109,40 °BT), Kayuwatu Manado-Sulawesi Utara (1,55 °LU; 124,92 °BT) dan Kemayoran Jakarta (6,15 °LS; 106,85 °BT) dilakukan dengan mengambil sampel grid

data 3B43 TRMM yang melingkupi posisi masing-masing stasiun meteorologi / klimatologi BMKG yang dipilih tersebut. Untuk daerah Sicincin Padang-Sumatera Barat adalah 0,50 °LS-0,75 °LS dan 100,25 °BT-100,50 °BT; daerah Supadio, Pontianak Kalimantan Barat adalah 0,00 °LS-0,25 °LS dan 109,25 °BT-109,50 °BT; Kayuatu, Manado-Sulawesi Utara adalah 1,50 °LU-1,75 °LU dan 124,75 °BT-125,00 °BT; yang terakhir untuk daerah Kemayoran, Jakarta adalah 6,00 °LS-6,25 °LS dan 106,75 °BT-107,00 °BT. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya korelasi yang baik, yang ditunjukkan oleh adanya koefisien korelasi yang tinggi ($r = 0,8$) untuk semua daerah yang ditinjau di atas.

Kriteria yang digunakan untuk mengidentifikasi keadaan normal, di bawah normal maupun di atas normal adalah dengan membandingkan curah hujan yang tercatat pada suatu saat pada suatu tempat dengan nilai rata-rata hujan klimatologisnya. Pada saat ini rata-rata klimatologis hujan yang digunakan adalah rata-rata hujan yang teramati selama Januari 1981-Desember 2010. Jika nilai curah hujan yang tercatat pada suatu saat pada suatu tempat tersebut $< 85\%$ terhadap nilai rata-rata periode Januari 1981-Desember 2010 maka disebut sebagai keadaan di bawah normal. Jika nilai curah hujan yang tercatat pada suatu saat pada suatu tempat tersebut $> 115\%$ terhadap nilai rata-rata periode Januari 1981-Desember 2010 maka disebut sebagai keadaan di atas normal. Sedang curah hujan yang tercatat pada suatu saat pada suatu tempat tersebut berada dalam rentang $85\% - 115\%$ maka disebut sebagai keadaan normal, BMKG, (2014). Kriteria yang digunakan untuk mengidentifikasi keadaan ekstrem hujan adalah apabila curah hujan yang tercatat pada suatu saat pada suatu tempat tersebut \geq nilai rata-rata klimatologis periode Januari 1981-Desember 2010 ditambah 2 kali nilai deviasi standarnya maka disebut sebagai keadaan ekstrem. Kriteria ini dikenal sebagai kriteria POT (*Peak over Threshold*) Fowler dan Kilsby, (2003).

Kriteria untuk mengindikasikan keadaan El Niño (fase hangat) dan La Niña (fase dingin) ini mengacu pada definisi : periode 3 sampai 5 kali, 3 bulan berturut-turut tumpang tindih pada atau di atas anomali $0,5^\circ$ sebagai fase hangat (peristiwa El Niño), dan pada atau di bawah anomali $-0,5^\circ$ sebagai fase dingin (peristiwa La Niña). Ambang ini lebih lanjut dipecah menjadi kategori lemah (untuk nilai ONI = 0,5-0,9), kategori sedang/moderat (untuk nilai ONI = 1,0-1,4) dan kategori kuat (untuk nilai ONI $\geq 1,5$). Dalam hal ini, keadaan El Niño (fase hangat) dan La Niña (fase dingin) dikategorikan sebagai lemah, sedang atau kuat itu harus menyamai atau melampaui ambang batas untuk setidaknya 3 periode tumpang tindih 3-bulan berturut-turut, Jan Null, (2014).

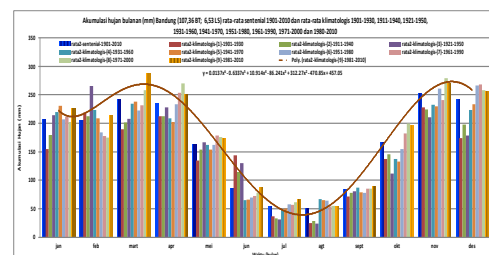
Selanjutnya, dilakukan penelusuran nilai dan pola serta analisis statistik standar terhadap data curah hujan observasi permukaan (BMKG) maupun data hujan observasi satelit (3B43V6 TRMM) dalam rentang daerah dan waktu yang ditinjau, sehingga dapat diperoleh gambaran karakteristik hujan (terutama kondisi normal, di bawah dan di atas normal, sampai ke kondisi ekstremnya) yang terjadi di wilayah Bandung

dan sekitarnya pada berbagai kondisi (normal maupun pada saat terjadi El-Niño dan La-Niña pada beberapa kategori: lemah, moderat dan kuat) dalam rentang pengamatan 1901 – 2012.

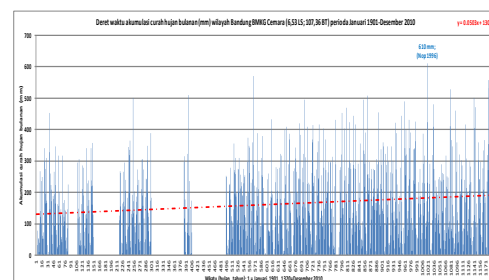
HASIL DAN ANALISIS

Hasil

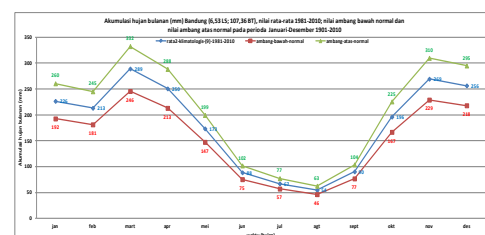
Pola bulanan curah hujan (mm) Bandung (06,53 °LS; 107,36 °BT) rata-rata klimatologis 1901-1930; 1911-1940; 1921-1950; 1931-1960; 1941-1970; 1951-1980; 1961-1990; 1971-2000; 1981-2010 dan sentential 1901-2010, pola kecenderungan curah hujan bulanan Bandung rentang sentential 1901-2010, akumulasi hujan bulanan (mm) Bandung, nilai rata-rata 1981-2020; nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal Januari-Desember 1901-2010, akumulasi hujan bulanan (mm) Bandung, nilai rata-rata 1981-2020; nilai ambang ekstrem POT dan nilai ekstrem hujannya Januari-Desember 1901-2010 berbasis observasi permukaan (BMKG) masing-masing disajikan dalam Gambar 1 sampai Gambar 4 berikut.



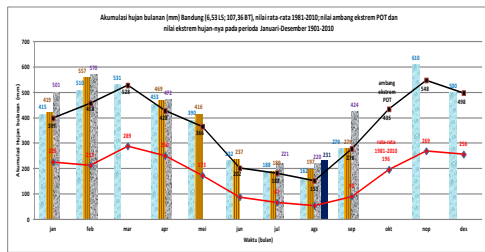
Gambar 1. Pola bulanan curah hujan Bandung (06,53 °LS; 107,36 °BT) rata-rata klimatologis 1901-1930; 1911-1940; 1921-1950; 1931-1960; 1941-1970; 1951-1980; 1961-1990; 1971-2000; 1981-2010 dan sentential 1901-2010



Gambar 2. Pola kecenderungan curah hujan bulanan Bandung (06,53 °LS; 107,36 °BT) 1901-2010

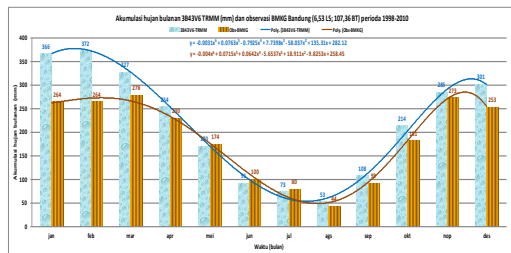


Gambar 3. Akumulasi hujan bulanan (mm) Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT), nilai rata-rata 1981-2010; nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal Januari-Desember 1901-2010

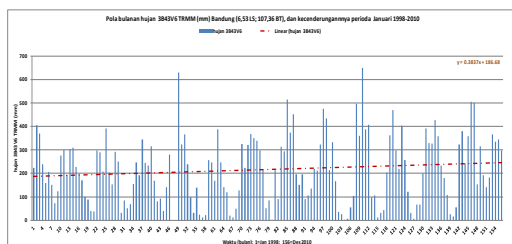


Gambar 4. Akumulasi hujan bulanan (mm) Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT), nilai rata-rata 1981-2010; nilai ambang ekstrem POT dan nilai ekstrem hujannya Januari-Desember 1901-2010

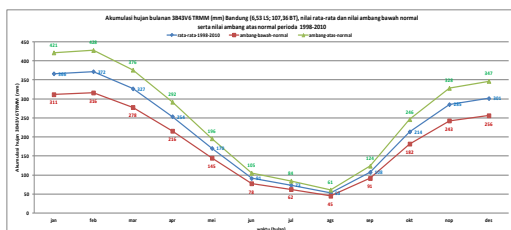
Hal serupa dengan Gambar 1 sampai Gambar 4 (pola bulanan curah hujan Bandung 1998-2010; pola kecenderungan curah hujan Bandung 1998-2010; akumulasi hujan, nilai rata-rata, nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal Bandung 1998-2010 serta akumulasi hujan bulanan (mm), nilai rata-rata, nilai ambang ekstrem POT, dan nilai ekstrem hujannya Bandung 1998-2010) tetapi berbasis observasi satelit TRMM disajikan dalam Gambar 5 sampai Gambar 8 berikut.



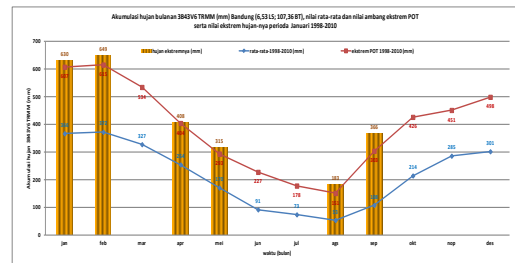
Gambar 5. Akumulasi hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) dan observasi BMKG Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) periode 1998-2010



Gambar 6. Pola kecenderungan curah hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) Bandung (06,53 °LS; 107,36 °BT) 1998-2010

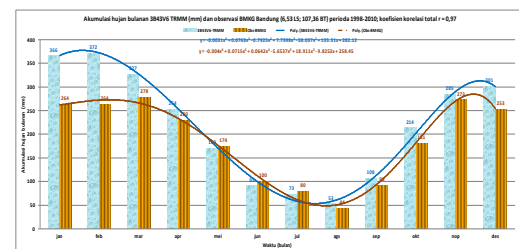


Gambar 7. Akumulasi hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT), nilai rata-rata 1981-2010; nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal 1998-2010

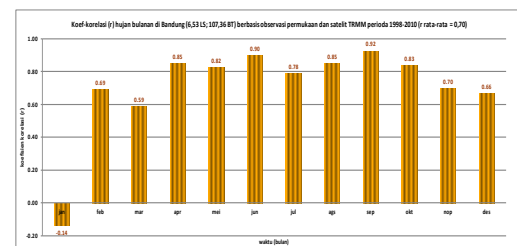


Gambar 8. Akumulasi hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT), nilai rata-rata 1981-2010; nilai ambang ekstrem POT dan nilai ekstrem hujannya 1998-2010

Sedang korelasi total dan korelasi bulanan antara akumulasi hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) dengan hujan bulanan *in-situ* (BMKG) untuk wilayah Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) selama periode 1998-2010 disajikan dalam Gambar 9 dan Gambar 10 berikut.



Gambar 9. Korelasi total antara akumulasi hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) dengan hujan bulanan *in-situ* (BMKG) Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) 1998-2010



Gambar 10. Korelasi bulanan antara akumulasi hujan bulanan 3B43V6 TRMM (mm) dengan hujan bulanan *in-situ* (BMKG) Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) 1998-2010

Analisis

Dari Gambar 1 di atas terlihat bahwa pola hujan utama di Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) yang berbasis observasi permukaan (BMKG) dalam rentang pengamatan sentential 1901-2010, maupun dalam rentang-rentang klimatologis 1901-1930, 1911-1940, 1921-1950, 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 dan 1981-2010 menunjukkan sebagai pola hujan equatorial karena dalam setiap tahunnya curah hujan di wilayah ini memiliki dua puncak (bi-moda) dan satu lembah. Akumulasi puncak curah hujan rentang klimatologis 1981-2010 yang pertama terjadi pada bulan Maret dengan nilai 289 mm, akumulasi puncak hujan ke dua terjadi pada bulan Nopember dengan nilai 269 mm, sedang lembah hujan (akumulasi terendah hujan) terjadi pada bulan Nopember dengan nilai 54 mm. Sebagaimana diungkap dalam Tjasyono (2004) maupun Aldrian dan Susanto (2003), faktor utama penyebab terjadi pola hujan equatorial di suatu daerah adalah karena adanya pergerakan semu

matahari setiap tahunnya, dari posisi *Tropic of Cancer* (23,5 °LU pada 22 Juni) yang bersesuaian dengan musim panas Belahan Bumi Utara (*Northern Summer Soltice*) bergerak ke selatan, sampai ke 0 °LU/°LS pada 21 Maret, terus bergerak ke selatan lagi sampai pada posisi *Tropic of Carpricorn* (23,5 °LS pada 22 Desember) yang bersesuaian dengan musim dingin Belahan Bumi Utara (*Northern Winter Soltice*), kemudian berubah arah menuju utara dan sampai ke 0 °LU/°LS pada 23 September, terus bergerak ke utara lagi sampai pada posisi *Tropic of Cancer* (23,5 °LU pada 22 Juni) lagi.

Namun demikian, jika Gambar 1 ini dibandingkan dengan Gambar 5 maupun Gambar 9 terlihat bahwa pada sekitar satu dasa warsa terakhir (1998-2010) terlihat bahwa pola hujan utama di Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) yang berbasis observasi permukaan (BMKG) maupun berdasarkan observasi satelit TRMM dalam rentang pengamatan yang lebih pendek (13 tahun, yaitu 1998-2010) menunjukkan adanya pola yang berbeda. Dari Gambar 5 dan Gambar 9 di atas terlihat bahwa pola hujan utama di Bandung ini hanya memiliki satu puncak (uni-moda) dan satu lembah dalam setiap tahunnya. Pola hujan utama yang hanya memiliki satu puncak (uni-moda) dan satu lembah dalam setiap tahunnya dikenal sebagai pola hujan monsun. Sebagaimana diungkap dalam Tjasyono (2004) maupun Aldrian dan Susanto (2003) pula bahwa faktor utama penyebab terjadi pola hujan monsun di suatu daerah adalah karena adanya pergerakan massa udara lembab ataupun pergerakan angin lintas benua (dari Asia menuju Australia, dan sebaliknya) yang berperioda secara musiman, yang dikenal sebagai fenomena Monsun Asia Timur dan Tenggara dan Monsun Australia Utara.

Dari Gambar 1, Gambar 5 dan Gambar 9 ini dapat pula diungkap dugaan bahwa telah terjadi pergeseran pola hujan utama di Bandung dari pola hujan equatorial ke pola monsun. Dugaan ini memang masih memerlukan penelitian lanjutan yang lebih lengkap, menyeluruh dan terpadu. Maka lebih tepatnya adalah diduga telah terjadi pergeseran/perubahan nilai akumulasi puncak hujan (terutama yang terjadi pada bulan-bulan Februari, Maret, April) pada rentang 1998-2010.

Dari Gambar 2 dan Gambar 6 secara umum dapat diungkapkan bahwa baik dalam rentang yang lama/panjang (sentential 1901-2010) yang berbasis observasi permukaan (BMKG), maupun dalam rentang yang sengkut/pendek (1998-2010) yang berbasis satelit TRMM, curah hujan di Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) secara linier menunjukkan kecenderungan naik, masing-masing dinyatakan dalam persamaan regresi linier $y = 0.0503x + 130.73$ (hujan observasi permukaan/BMKG) dan $y = 0.3837x + 186.68$ (hujan observasi satelit TRMM). Hal ini kemungkinan karena adanya fenomena pemanasan (kenaikan suhu udara permukaan) global yang secara nyata ditunjukkan dalam TCC-JMA, (2014) memiliki pengaruh langsung (*simultaneously*, $\delta t=0$) atau tertunda (*lag time*, $\delta t \neq 0$) dengan perilaku/pola curah hujan yang ditinjau dalam penelitian ini.

Dari Gambar 3 dan Gambar 7 dapat diungkapkan bahwa akumulasi hujan bulanan, nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal curah hujan di Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) ini secara umum, baik dalam rentang yang lama/panjang (sentential 1901-2010) yang berbasis observasi permukaan (BMKG), maupun dalam rentang yang singkat/pendek (1998-2010) yang berbasis satelit TRMM memiliki pola serupa dengan pola hujan utama di Bandung (6,53 °LS; 107,36 °BT) yang berbasis observasi permukaan (BMKG) dalam rentang pengamatan sentential 1901-2010, maupun dalam rentang-rentang klimatologis 1901-1930, 1911-1940, 1921-1950, 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 dan 1981-2010, yang menunjukkan sebagai pola hujan equatorial karena dalam setiap tahunnya curah hujan di wilayah ini memiliki dua puncak (bi-moda) dan satu lembah (Gambar 1, curah hujan yang berbasis observasi permukaan 1901-2010), maupun yang menunjukkan sebagai pola hujan monsun karena dalam setiap tahunnya curah hujan di wilayah ini memiliki satu puncak (uni-moda) dan satu lembah dalam setiap tahunnya (Gambar 5, curah hujan yang berbasis observasi satelit TRMM 1998-2010). Nilai maksimum puncak akumulasi hujan bulanan, nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal curah hujan terjadi dua kali dalam setiap tahunnya pada bulan yang sama yaitu bulan Maret dan Nopember, masing-masing pada nilai 246 mm (ambang bawah normal, Maret), 289 mm (normal klimatologis 1981-2010, Maret) dan 332 mm (ambang atas normal, Maret), di satu sisi, sedang di sisi yang lain adalah masing-masing pada nilai 229 mm (ambang bawah normal, Nopember), 269 mm (normal klimatologis 1981-2010, Nopember) dan 310 mm (ambang atas normal, Nopember). Sedang nilai lembah (terrendah) akumulasi hujan bulanan, nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal curah hujan terjadi pada Agustus, masing-masing pada nilai 46 mm (ambang bawah normal), 54 mm (normal klimatologis 1981-2010) dan 63 mm (ambang atas normal), sebagaimana ditunjukkan dalam (Gambar 3). Untuk akumulasi hujan bulanan, nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal curah hujan di Bandung yang berbasis observasi satelit TRMM diperoleh gambaran bahwa dalam rentang yang singkat/pendek (1998-2010) puncak akumulasi hujan terjadi satu kali dalam setiap tahunnya pada bulan Februari, masing-masing pada nilai 315 mm (ambang bawah normal), 372 mm (normal klimatologis 1981-2010) dan 428 mm (ambang atas normal), sebagaimana ditunjukkan dalam (Gambar 7). Demikian pula halnya, nilai lembah (terrendah) akumulasi hujan bulanan, nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal curah hujan terjadi juga hanya satu kali, pada Agustus, masing-masing pada nilai 45 mm (ambang bawah normal), 53 mm (normal klimatologis 1981-2010) dan 61 mm (ambang atas normal), sebagaimana ditunjukkan dalam (Gambar 7).

Dari Gambar 4 dan Gambar 8 dapat diungkapkan bahwa akumulasi hujan bulanan, nilai

ambang ekstrem POT (*Peak over Threshold*) dan nilai hujan ekstrem pada bulan yang bersangkutan di Bandung ini, secara umum memiliki pola yang serupa dengan nilai ambang bawah normal dan nilai ambang atas normal curah hujan. Berdasar observasi permukaan dalam rentang Januari 1901 sampai Desember 2010, bulan Agustus merupakan bulan dengan frekuensi kejadian ekstrem hujan yang paling banyak (4 kali kejadian ekstrem hujan), sedang bulan Oktober merupakan dengan frekuensi kejadian ekstrem hujan yang paling sedikit (0 kali kejadian ekstrem hujan), sebagaimana disajikan dalam Gambar 4. Sedang berdasar observasi satelit TRMM dalam rentang Januari 1998 sampai Desember 2010, terlihat bahwa kejadian ekstrem hujan di Bandung ini hanya terjadi pada bulan-bulan Januari, Februari, April, Mei, Agustus dan September, masing-masing hanya terjadi satu kali ekstrem hujan. Pada bulan-bulan lainnya (Maret, Juni, Juli, Oktober, Nopember dan Desember) tidak terjadi ekstrem hujan. Faktor pasti dan utama penyebab kejadian ekstrem hujan di Bandung belum dapat diungkap secara detil dan pasti pada tahap penelitian kali ini. Faktor dugaan penyebab kejadian ekstrem hujan di Bandung adalah munculnya fenomena-fenomena global *Indian Ocean Dipole* Negatif, La Niña dan monsun Asia yang secara serempak ataupun berbeda fase yang relatif kecil. Mungkin pula satu fenomena global saja ataupun gabungan dua fenomena global (*Indian Ocean Dipole* Negatif atau La Niña atau monsun Asia) muncul dengan intensitas ataupun kekuatan yang besar diduga dapat pula menyebabkan terjadinya ekstrem hujan di Bandung ini.

Dari Gambar 9 dan Gambar 10 secara umum dapat diungkapkan bahwa baik secara bulanan maupun secara total, curah hujan di Bandung yang diamati oleh satelit TRMM maupun dari observasi permukaan (oleh BMKG) memiliki keterkaitan yang erat, dengan nilai koefisien korelasi bulanan tertinggi $r = 0,90$ (terjadi untuk Juni) dan $r = 0,92$ (untuk bulan September), dan korelasi bulanan terendah $r = -0,14$ terjadi untuk bulan Januari. Nilai koefisien korelasi bulanan rata-rata juga masih baik, yaitu pada nilai $r = 0,70$, sebagaimana disajikan dalam Gambar 10. Sedang nilai korelasi secara total curah hujan di Bandung, antara observasi permukaan (BMKG) dan satelit TRMM memiliki nilai r yang sangat baik, yaitu $r = 0,97$. Hal ini mengindikasikan bahwa data hujan yang teramati dari satelit TRMM ini dapat digunakan untuk mensubstitusi data hujan di daerah-daerah terpencil di Bandung dan sekitarnya yang tidak memiliki alat penakar curah hujan (*rain gauge*).

Dalam kaitannya dengan kejadian El-Niño dan La-Niña di wilayah Niño 3.4 (5°LU - 5°LS , 120°BB - 170°BB) yang dinyatakan dalam bentuk indek yang dikenal sebagai data indek oseanik Niño (*The Oceanic Nino Index*, ONI), diperoleh gambaran bahwa berbasis pada observasi *in-situ* (permukaan), pada saat normal (tidak ada kejadian El-Niño dan La-Niña) yang bersesuaian dengan periode Desember, Januari dan Februari (DJF) 2003-2004,

rata-rata hujan bulanan di wilayah Bandung ($6,53^{\circ}\text{LS}$; $107,36^{\circ}\text{BT}$) adalah 196,67 mm. Nilai normal DJF 2003-2004 ini lebih kecil dibandingkan saat ada kejadian La-Niña kuat pada periode DJF 1999-2000 (212,37 mm), saat ada kejadian El-Niño kuat pada periode DJF 2009-2010 (393,83 mm), maupun pada nilai rata-rata klimatologis DJF 1981-2010 (231,86 mm). Sedang hasil yang berbasis observasi satelit TRMM menunjukkan bahwa, pada saat normal (tidak ada kejadian El-Niño dan La-Niña) yang bersesuaian dengan periode Desember, Januari dan Februari (DJF) 2003-2004, rata-rata hujan bulanan di wilayah Bandung adalah sebesar 231,17 mm. Nilai normal DJF 2003-2004 ini lebih besar dibandingkan saat ada kejadian La-Niña kuat pada periode DJF 1999-2000 (107,00 mm), tetapi lebih kecil bila dibandingkan saat ada kejadian El-Niño kuat pada periode DJF 2009-2010 (461,03 mm), maupun pada nilai rata-rata "klimatologis TRMM" periode DJF 1998-2010 (246,24 mm). Hal ini mengindikasikan bahwa fenomena El-Niño dan La-Niña memberikan dampak yang berkebalikan terhadap akumulasi hujan di Bandung dibandingkan dengan wilayah-wilayah lain di Indonesia. Sebagaimana diketahui, secara umum fenomena La-Niña memberikan dampak terjadinya akumulasi hujan yang lebih besar (terhadap keadaan normalnya) di sebagian besar wilayah Indonesia, dan sebaliknya fenomena El-Niño memberikan dampak terjadinya akumulasi hujan yang lebih kecil (terhadap keadaan normalnya) di sebagian besar wilayah Indonesia.

KESIMPULAN

Pola hujan utama di Bandung ($6,53^{\circ}\text{LS}$; $107,36^{\circ}\text{BT}$) yang berbasis observasi permukaan (BMKG) dalam rentang pengamatan sentential 1901-2010, maupun dalam rentang-rentang klimatologis 1901-1930, 1911-1940, 1921-1950, 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 dan 1981-2010 menunjukkan sebagai pola hujan equatorial, namun untuk rentang pengamatan yang lebih pendek (13 tahun, yaitu 1998-2010) menunjukkan adanya pola yang berbeda. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi pergeseran/ perubahan nilai akumulasi puncak hujan (terutama yang terjadi pada bulan-bulan Februari, Maret, April) di wilayah Bandung ini pada rentang 1998-2010. Baik dalam rentang yang lama/panjang (sentential 1901-2010) yang berbasis observasi permukaan (BMKG), maupun dalam rentang yang singkat/pendek (1998-2010) yang berbasis satelit TRMM, curah hujan di Bandung ($6,53^{\circ}\text{LS}$; $107,36^{\circ}\text{BT}$) secara linier menunjukkan kecenderungan naik. Baik secara bulanan maupun secara total, curah hujan di Bandung yang diamati oleh satelit TRMM maupun dari observasi permukaan (oleh BMKG) memiliki keterkaitan yang erat, dengan nilai koefisien korelasi bulanan tertinggi $r = 0,90$ (terjadi untuk Juni) dan $r = 0,92$ (untuk bulan September), bahkan korelasi totalnya memiliki nilai yang sangat baik, yaitu $r = 0,97$. Dalam kaitannya dengan kejadian El-Niño dan

La-Niña di wilayah Niño 3.4 (5°LU - 5°LS , 120°BB - 170°BB) yang dinyatakan dalam bentuk indek yang dikenal sebagai data indek oseanik Niño (*The Oceanic Nino Index*, ONI), diperoleh gambaran bahwa fenomena El-Niño dan La-Niña memberikan dampak yang berkebalikan terhadap akumulasi hujan di Bandung dibandingkan dengan wilayah-wilayah lain di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terimakasih kepada Ir. Halimurrahman, M.T. (Selaku Integrator I) dan Dr.Didi Satiadi (Selaku Integrator II) atas masukan, saran dan diskusi yang konstruktif dalam penelitian ini. Terimakasih juga disampaikan kepada Dra. Juniarti Visa atas bantuan pengolahan awal data curah hujan observasi permukaan. Penelitian ini merupakan bagian dari Program Penelitian dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi yang ada di Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN Tahun anggaran 2014 dengan Peneliti Utama : Drs. Arief Suryantoro, M.Si.

DAFTAR PUSTAKA

Aldrian, E. and R.D. Susanto (2003), Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature, *Int. Jour. of Clim.*, **23**, 1435-1452.
BMKG (2014), Prakiraan Musim Hujan 2014 - 2015 Di Indonesia, dari
http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Informasi_Iklim/Prakiraan_Iklim/Prakiraan_Musim.bmkg.
Akses 6 Oktober 2014.

Fowler, H.J. and Kilsby, C.G., (2003), A Regional Frequency Analysis of United Kingdom Extreme Rainfall from 1961 to 2000, *International Journal of Climatology*, **11**, 1313-1334.
Jan Null, CCM (2014), El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI), dari :
<http://ggweather.com/enso/oni.htm>.
Akses 14 Mei 2014.
Prawiwardoyo, S. (1996), Mengenal Awan dan Hidrometeor, dari Meteorologi, Penerbit ITB, Bandung, 167-179.
Smith, E.A., K.S. Kuo, A.V. Mehta, and S. Yang, (2008), Variability of Indian Summer Monsoon Rainfall, dalam 3rd International TRMM Conference, 4-8 February 2008, Las Vegas, N.V.
Suryantoro, A., Halimurrahman dan T. Harjana (2008), Variasi Spasiotemporal Curah Hujan Indonesia Berbasis Observasi Satelit TRMM, Prosiding Workshop Aplikasi Sains Atmosfer, LAPAN Bandung, 175-186.
TCC-JMA, (2014), Global Average Surface Temperature, dari :
http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/gwp/temp/ann_wld.html. Akses 15 Oktober 2014
Tjasyono, B.H.K. (2004), Unsur Cuaca dan Iklim, dari : Klimatologi, Penerbit ITB, Bandung, 11-38.

KONTROL PID UNTUK KONTROL SUDUT SUDU TURBIN SCREW

Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho¹, Djoko Purwanto², Dedet Candra Riawan³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Email: dwi.oktavianto.wahyu.n.11@mhs.ee.its.ac.id¹, djoko@ee.its.ac.id², dedet@ee.its.ac.id³

Abstrak

Pada proses pembangkitan energi listrik, terdapat dua komponen penting yang sangat berperan dalam mengkonversi sebuah energi kinetik menjadi energi listrik, yakni turbin dan alternator. Turbin berperan mengkonversi energi kinetik air menjadi energi putar, sedangkan alternator mengkonversi energi putar yang dihasilkan oleh turbin tadi menjadi energi listrik. Pada pembangkit listrik mikrohidro, terdapat bermacam jenis turbin yang dikembangkan, salah satunya turbin jenis screw (ulir)/Archymedes turbin. Turbin jenis ini banyak digunakan karena kemudahannya dalam desain dan penempatan. Namun sama halnya dengan turbin yang lain, selama ini sudut sudu turbin ini dirancang dengan sudut yang tetap untuk asumsi tekanan aliran air yang didapatkan oleh turbin tetap. Namun pada kenyataannya pola tekanan aliran air tidaklah selalu tetap, oleh sebab itu perlu direncanakan sebuah turbin yang mempunyai sudut sudu yang tidak tetap (berkisar antara 29o hingga 60o) agar dapat menyesuaikan dengan perubahan tekanan yang terjadi. Proses pengadaptasian diri dilakukan dengan mencari sudut yang optimal pada saat terjadi perubahan tekanan. Tujuan dari pengadaptasian ini adalah agar turbin dapat menghasilkan daya yang optimal, menghindari turbin dari kerusakan serta mampu mengantisipasi bila turbin beralih fungsi dari sistem penghasil tenaga menjadi beban pada sistem saat tegangan yang dihasilkan oleh turbin mengalami penurunan. Kontrol PID digunakan untuk mengendalikan perubahan sudut sudu ini saat tekanan yang mengenai turbin berubah guna mencari titik optimum dari sudut turbin tersebut.

Kata kunci: Konversi Energi, Turbin Screw, Sudut Sudu Tak Tetap, Kontrol PID.

1. PENDAHULUAN

Turbin schrew merupakan jenis turbin helical yang berbentuk ulir. Turbin schrew memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan jenis turbin yang lain, antara lain :

1. Tidak memerlukan sistem kontrol khusus
2. Memiliki efisiensi yang tinggi
3. Mudah diperbaiki
4. Ramah lingkungan
5. Umur turbin 25 - 40 tahun[1].

Namun saat ini turbin screw dirancang untuk kondisi tertentu, yakni dengan sudut tertentu untuk menghasilkan nilai putaran atas tekanan tertentu yang dikenakan. Dengan demikian saat tekanan yang diterima oleh turbin melebihi toleransi, maka kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin lebih besar, sehingga alternator menghasilkan frekuensi dan tegangan induksi lebih tinggi dari yang diharapkan. Demikian pula sebaliknya, saat tekanan yang diterima oleh turbin lebih kecil dari yang diharapkan, maka akan menyebabkan alternator menghasilkan frekuensi dan tegangan induksi yang lebih rendah dari yang diharapkan. Oleh sebab itu diperlukan sebuah turbin yang mampu beradaptasi terhadap perubahan tekanan yang ada supaya dapat menghasilkan listrik yang relatif stabil. Salah satu caranya yakni dengan membuat sudu dari turbin schrew tersebut agar dapat berubah sudut berdasarkan tekanan yang diterimanya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tata nama yang digunakan

- P_1 = Tekanan fluida pada titik 1 (atm)
 P_2 = Tekanan fluida pada titik 2 (atm)
 v_1 = kecepatan aliran air pada titik 1 (mm/s)
 v_2 = kecepatan aliran air pada titik 2 (mm/s)

- H_1 = tinggi aliran air pada titik 1 (mm)
 H_2 = tinggi aliran air pada titik 2 (mm)
 h = tinggi tonjolan (mm)
 ρ = massa jenis air (Kg/mm³)
 t_{total} = tinggi total 6 putar sudu turbin (mm)
 R = jarak titik A (Gambar 3.6) terhadap $\frac{1}{4}$ putar sudu (mm)
 R_1 = jari – jari pilin pipa (mm)
 α = besar sudut sudu turbin (deg.).
 P = Tekanan yang diterima sudu (atm)
 F = Gaya dorong yang dialami sudu (N.)
 A = luas penampang yang tertumbuk (mm²).
 W = usaha untuk mengubah sudut sudu (J)
 r_1 = jari – jari dari pipa pilin (mm)
 S = jarak pengubahan sudut sudu (mm).
 m_{air} = masa air (gr.)
 v_2 = kecepatan aliran fluida awal (mm/s)
 v_4 = kecepatan aliran yang dibelokkan (mm/s)
 α = besar sudut sudu turbin (degree).
 v_3 = kecepatan putar turbin (mm/s)
 ω_{turbin} = kecepatan sudut turbin (rad/s)
 R_1 = jari – jari turbin (mm).
 s = kecepatan sudut turbin (rpm).
 N = jumlah kutub (pole)
 E = Tegangan GGL generator (V)
 f = frekuensi generator (Hz)
 f_v = faktor efektif = 1,111
 f_w = faktor lilitan (untuk generator fasa tunggal adalah 0,8 dan untuk generator fasa tiga adalah 0,96).
 Φ = fluks (garis gaya = 108 maxwell)
 W_l = lilitan

Sebuah sistem akan memiliki energi, bila sistem tersebut memiliki kemampuan untuk melakukan usaha. Dengan demikian besarnya energi tersebut akan

bergantung pada besarnya sistem dalam melakukan usaha. Namun saat sebuah energi terbentuk, maka energi tersebut tidak dapat dimusnahkan, tetapi energi tersebut dapat dikonversi menjadi bentuk energi yang lain. Terdapat berbagai bentuk energi yang ada di alam, yakni energi kinetik, energi potensial, energi nuklir, energi listrik, dan lain sebagainya.

Pada fluida yang mengalir terdapat beberapa bentuk energi, yakni antara lain :

- Energi Kinetik

Energi ini terbentuk karena gerakan dari fluida, dimana besarnya energi ini dapat diukur dari massa fluida tersebut dan kecepatan dari fluida tersebut saat bergerak yang dapat dijabarkan dalam Persamaan 2.1.

$$E_k = 1/2 m v^2 \quad (2.1)$$

Dimana :

E_k = Besarnya energi kinetik yang ditimbulkan (J)

m = massa fluida (Kg.)

v = kecepatan aliran fluida (m/s).

- Energi Potensial

Sebuah energi potensial terbentuk karena kedudukan dari benda, dimana dalam hal ini benda tersebut adalah fluida. Besarnya energi ini sangat bergantung pada massa fluida dan ketinggian fluida dari titik referensinya, yang dijabarkan dalam Persamaan 2.2.

$$E_p = m g h \quad (2.2)$$

Dimana:

E_p = Besarnya energi potensial yang dibentuk (J)

m = massa fluida (kg.)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = ketinggian posisi fluida dari referensi (m).

- Energi Tekanan fluida

Energi tekanan ini timbul atas sejumlah volume fluida yang mengalir terhalangi oleh suatu bidang, yang terjabarkan dalam Persamaan 2.3.

$$E_p = P V \quad (2.3)$$

Dimana :

E_p = Besarnya energi tekanan yang dibentuk (J)

P = tekanan fluida (atm)

V = volume fluida (m³).

Dengan mengumpamakan sejumlah volume fluida tersebut dengan massa fluida yang terhalangi dan massa jenis fluida maka Persamaan 2.3 dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan 2.4.

$$E_p = m P / \rho \quad (2.4)$$

Dimana :

E_p = Besarnya energi tekanan yang dibentuk (J)

m = massa fluida (Kg.)

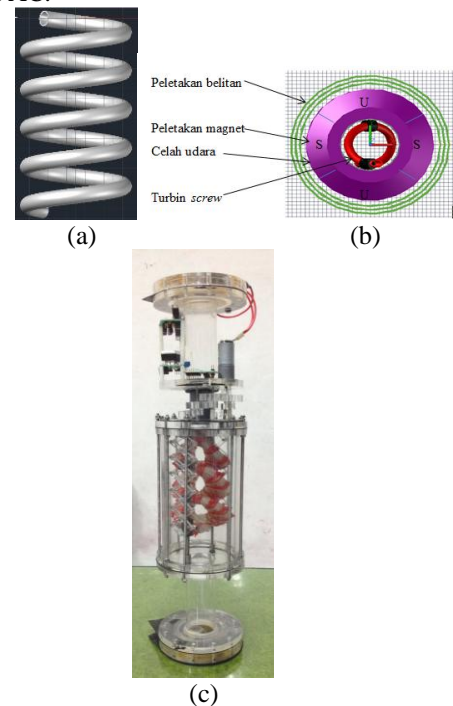
P = Tekanan fluida (atm)

ρ = massa jenis fluida (Kg./m³).

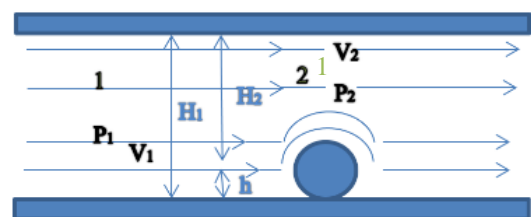
Ketiga jenis energi inilah yang kemudian dipakai oleh turbin untuk dikonversi menjadi energi putar untuk memutar alternator.

3. METODA

Turbin screw (Gambar 3.1 (b)) yang disimulasikan dirancang dengan bentuk pipa yang dipilin/diposisikan seperti ulir yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 (a) yang diletakkan di dalam pipa yang lebih besar dengan perbandingan pipa pilin dengan pipa yang lebih besar sebesar 1 : 4. Dengan di posisi lapisan luar dari pipa yang menjadi wadah pipa yang dipilin ditempatkan dua pasang magnet neodmium sebagai sumber medan induksi yang akan diubah menjadi tegangan AC.



Gambar 3.1 Turbin screw dengan pipa yang dipilin gambar desain tampak atas (a), tampak depan (b). realisasi desain sistem (c).



Gambar 3.2 Ilustrasi penyempitan kanal [5].

Dengan desain turbin tersebut maka diharapkan perubahan nilai tekan akibat adanya turbin tidak terlalu besar dibanding dengan desain turbin yang telah ada atau dengan kata lain *head loss* yang diakibatkan dengan pemasangan turbin tidak terlalu

besar. Dibuktikan dengan menggunakan persamaan bernouli untuk kondisi dalam Gambar 3.2 dan persamaan kontinuitas lebar kanal konstan sehingga didapatkan Persamaan 3.1. Dengan P_1 dan v_1 merupakan tekanan dan kecepatan aliran di titik 1, serta P_2 dan v_2 merupakan tekanan dan kecepatan aliran di titik 2.

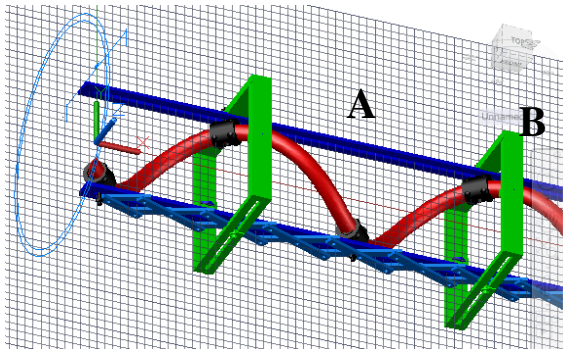
$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{H_1^2}{(H_1 - h)^2} - 1 \right)$$

$$P_1 - P_2 = \rho \times \frac{v_1^2}{2} \times \left(\frac{h^2 - 2H_1 h}{(H_1 - h)^2} \right); P = P_1 - P_2$$

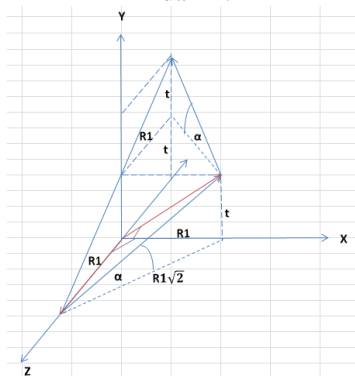
$$v_1 = \sqrt{2 \times \frac{P}{\rho} \times \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)} \quad (3.1)$$

Dengan demikian head loss dapat diminimalkan dengan memberikan diameter pipa yang dipilin dalam ukuran yang kecil.

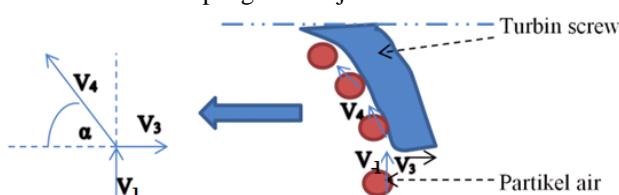
Sedang untuk pengubahan nilai sudut sudu dilakukan dengan menggeser jarak antara dua titik sudu (shaft), seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.3 dan Gambar 3.4. Dalam Gambar 3.4 tersebut diketahui bahwa dalam satu kali putaran pilin sudu, maka terdapat jarak antara awal pilin dengan satu kali putaran pilinan, yang ditandai dengan titik A dan titik B.



Gambar 3.3 Sistem pengubahan besar sudut sudu dengan memperpendek dan memperpanjang jarak titik A dan B.



Gambar 3.4 Pengubahan sudut sudu melalui pengubahan jarak.



Gambar 3.5 Ilustrasi energi kinetik dan momentum yang terjadi pada sistem turbin.

Analisa momentum atau tumbukan yang terjadi digambarkan pada Gambar 3.5. Saat pipa yang dipilin kondisi awal tidak bergerak dengan kata lain pipa yang dipilin bergerak karena mendapatkan tumbukan dari aliran air yang mengalir.

Analisa sumbu vertikal

$$m_{air} v_1 + m_{selang} v_2 = m_{air} v_4 \sin \alpha + m_{selang} v_3 \cos 90^\circ$$

; $v_2 = 0$ (kondisi awal diam)

$$m_{air} v_1 = m_{air} v_4 \sin \alpha$$

$$v_4 = \frac{v_1}{\sin \alpha} \quad (3.2)$$

Analisa sumbu horizontal

$$m_{air} v_1 \cos 90^\circ + m_{selang} v_2 = m_{air} v_4 \cos \alpha + m_{turbin} v_3; v_2 = 0 \text{ (kondisi awal diam)}$$

$$0 = m_{air} v_4 \cos \alpha + m_{turbin} v_3$$

$$v_3 = -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_4 \cos \alpha$$

$$v_3 = -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} \frac{v_1}{\sin \alpha} \cos \alpha$$

$$v_3 = -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_1 \cot \alpha \quad (3.3)$$

Energi Kinetik dari aliran air yang menghantam turbin, yakni Ek_2 , kemudian dirubah menjadi energi kinetik yang dibelokkan dengan sudut sudu α (Ek_4) dan menjadi energi kinetik rotasi dari turbin (Ek_3). Analisa energi kinetik berdasarkan hukum kekekalan energi tersebut dijabarkan dalam Persamaan – persamaan 3.4, 3.5 dan 3.6.

Energi awal

$$Ek_{awal} = Ek_1 + Ek_2$$

$$Ek_{awal} = \frac{1}{2} m_{air} v_1^2 + 0$$

$$Ek_{awal} = \frac{1}{2} m_{air} v_1^2 \quad (3.4)$$

Energi akhir

$$Ek_{akhir} = Ek_3 + Ek_4$$

$$Ek_{akhir} = \frac{1}{2} m_{turbin} v_3^2 + \frac{1}{2} m_{air} v_4^2$$

$$Ek_{akhir} = \frac{1}{2} m_{turbin} \left(-\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_1 \cot \alpha \right)^2 + \frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2$$

$$Ek_{akhir} = \frac{1}{2} \frac{m_{air}^2}{m_{turbin}} v_1^2 \cot^2 \alpha + \frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2$$

$$\frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2 \quad (3.5)$$

Energi awal = Energi akhir

$$Ek_{awal} = Ek_{akhir}$$

$$\frac{1}{2} m_{air} v_1^2 = \frac{1}{2} \frac{m_{air}^2}{m_{turbin}} v_1^2 \cot^2 \alpha + \frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{m_{air}}{m_{turbin}} \cos^2 \alpha + 1$$

$$\begin{aligned}\sin^2 \alpha - 1 &= \frac{m_{air}}{m_{turbin}} \cos^2 \alpha \\ -\cos^2 \alpha &= \frac{m_{air}}{m_{turbin}} \cos^2 \alpha \\ m_{turbin} &= -m_{air}\end{aligned}\quad (3.6)$$

Dengan memasukkan Persamaan 3.6 kedalam Persamaan 3.3 akan didapatkan Persamaan 3.7 yang menunjukkan nilai dari kecepatan linear turbin (v_3).

$$\begin{aligned}v_3 &= -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_1 \cot \alpha \\ v_3 &= -\frac{m_{air}}{-m_{air}} v_1 \cot \alpha \\ v_3 &= v_1 \cot \alpha \\ v_3 &= \cot \alpha \sqrt{2 \times \frac{P}{\rho} \times \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)}\end{aligned}\quad (3.7)$$

Dari perhitungan kekekalan tersebut dapat diketahui besarnya kecepatan putar (v_3) yang ditimbulkan oleh kecepatan laju fluida (v_1), sehingga dapat diketahui kecepatan sudut turbin (ω_{turbin}) yang dihitung dalam Persamaan 3.8.

$$\begin{aligned}\omega_{turbin} &= \frac{v_3}{R_1} \\ \omega_{turbin} &= \frac{\cot \alpha}{R_1} \sqrt{2 \times \frac{P}{\rho} \times \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)}\end{aligned}\quad (3.8)$$

Sehingga nilai kecepatan sudut dalam rpm (s), dapat dihitung dengan Persamaan 3.9.

$$\begin{aligned}s &= \omega_{turbin} \frac{60}{2\pi} \\ s &= 30 \frac{\cot \alpha}{\pi R_1} \sqrt{2 \times \frac{P}{\rho} \times \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)}\end{aligned}\quad (3.9)$$

Dengan demikian frekuensi yang dibangkitkan oleh turbin dengan 6 kutub dapat dihitung dengan persamaan 3.10.

$$\begin{aligned}f &= \frac{s \cdot n}{120} \\ f &= \frac{n \cot \alpha}{4\pi R_1} \sqrt{2 \times \frac{P}{\rho} \times \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)}\end{aligned}\quad (3.10)$$

Sehingga tegangan GGL yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan 3.10

$$\begin{aligned}E &= 4 \cdot f \cdot f_v \cdot f_w \cdot \Phi \cdot W_l \text{ Volt} \\ E &= \frac{n \cot \alpha}{\pi R_1} \sqrt{2 \times \frac{P}{\rho} \times \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)} \cdot f_v \cdot f_w \cdot \Phi \cdot W_l \text{ Volt}\end{aligned}\quad (3.10)$$

Dengan memisalkan :

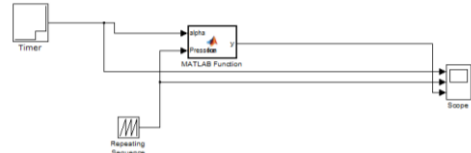
$$\begin{aligned}N &= 6 \text{ pole} \\ R_1 &= 1.5 \text{ cm} \\ \rho &= 1 \text{ gr/cm}^3 \\ H_1 &= 4.5 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h &= 3.5 \text{ cm} \\ f_v &= 1.111 \\ f_w &= 0.8 \\ \Phi &= 0.05 \text{ weber} \\ W_l &= 100 \text{ lilitan}.\end{aligned}$$

Maka Persamaan 3.10 dapat dituliskan sebagai berikut

$$E = 5.65 \cot \alpha \sqrt{0.1 P} \quad (3.10)$$

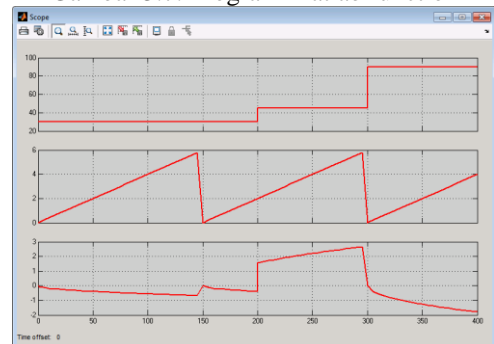
Bila disimulasikan dengan matlab maka hasil tersebut akan menghasilkan grafik seperti dalam Gambar 3.8 dengan model simulink seperti Gambar 3.6 dan program matlab function dalam Gambar 3.7



Gambar 3.6. Realisasi model Turbin.

```
function y = fm(alpha, Pressure)
%codegen
a= cot(alpha);
b=sqrt(0.1*Pressure);
y= 5.65*a*b;
```

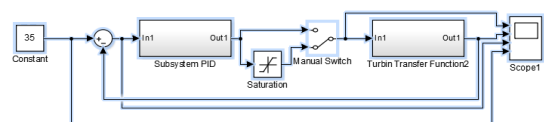
Gambar 3.7. Program Matlab function



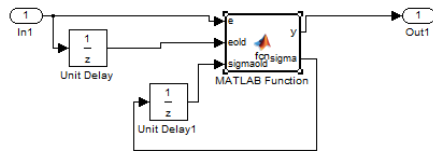
Gambar 3.8. Hasil simulasi Turbin : input berupa sudut (atas), input perubahan Tekanan/ Pressure dan output berupa Tegangan (bawah)

4. HASIL PENGUJIAN

Dengan memberikan kontrol PID pada sistem tersebut diatas (Gambar 4.1) dengan sistem PID yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, sistem PID mampu memantapkan kondisi keluaran dari sistem dimana pada sistem yang diuji sebelumnya keluaran tegangan mengalami guncangan akibat perubahan sudut.



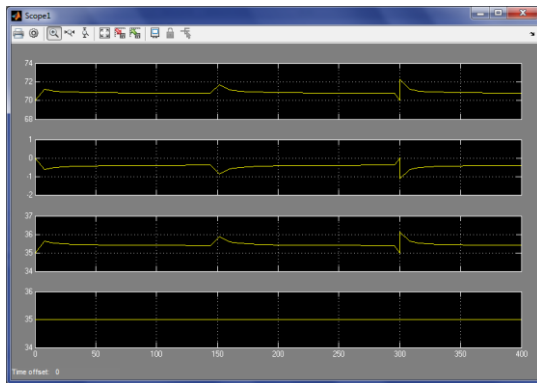
Gambar 4.1. Realisasi model turbin dengan kontrol PID.



www.danfoss.com/nr/rdonlyres/b07bd285-5895-48c9-ab04-2b0fbcd854f6/0/vfdlesson3.pdf
(tanggal akses : 18 mei 2012, 16.07 WIB)
Mustain, Mahmud, "Mekanika Fluida", ITSPRESS, Surabaya, 2011

```
function [y,sigma] = fcn(e,eold,sigmaold)
%#codegen
Kp=2;
Kd=0;
Ki=0;
T=1;
sigma=sigmaold+Ki*e*T;
delta=Kd*(e-eold)*T;
y=Kp*(e+sigma+delta);
```

Gambar 4.2. Realisasi model kontrol PID dengan menggunakan Matlab function



Gambar 4.3. Hasil simulasi kontrol PID untuk Turbin.

Keluaran dari kontrol PID / besar pengaturan sudut (atas), keluaran dari turbin (tengah atas), Input kontrol PID (tengah bawah) dan offset keluaran sistem (bawah)

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem kontrol PID mampu digunakan untuk kontrol pengatur sudut sudu, sehingga didapatkan keluaran yang relatif mantap dibanding dengan turbin sudut sudu tetap saat terkena perubahan tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Havendri, Adly dan Lius, Hendro, "Perancangan Dan Realisasi Model Prototipe Turbin Air Type Schrew (Archimedean Turbine) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Head Rendah di Indonesia", TeknikA, Vol.2, No. 31, 2009
- Liu, Pengfei, "A Computational hydrodynamics method for horizontal Axis Turbine – Panel Method Modelling Migration from Propulsion to Turbine Energy", Energy 35, hal. 2843 – 2851, 2010
- http://dave.ucsc.edu/physics195/thesis_2011/thesis_viscuso.pdf (tanggal akses : 9 Juli 2012, 21.00 WIB)

STUDI NUMERIK *WATER HAMMER* DALAM PIPA DENGAN MENGGUNAKAN METODE EKSPLISIT *FINITE DIFFERENCE LAX*

Ginanjari Adhika Jiwandoko¹, Gunawan Nugroho²

Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jalan Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

Email : ¹ginanjari.adhika11@mhs.ep.its.ac.id, ²gunawan@ep.its.ac.id

Abstrak

Penelitian mengenai proses aliran fluida di dalam pipa sampai saat ini terus berkembang dan masih dilakukan. Penelitian ini dapat diselesaikan baik secara eksperimen maupun secara numerik. Proses aliran fluida di dalam pipa ada kaitannya dengan fenomena yang disebut sebagai fenomena water hammer. Penelitian tentang fenomena water hammer di setiap sistem instalasi perpipaan sangat diperlukan. Oleh karena itu, dikembangkan penelitian tentang pemodelan numerik water hammer dalam pipa dengan menggunakan metode eksplisit finite difference Lax. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakterisasi fenomena water hammer dengan menampilkan grafik tekanan dan debit aliran fluida terhadap waktu. Persamaan yang digunakan adalah persamaan kekekalan momentum dan kekekalan massa. Hasilnya adalah bahwa keadaan transient berlangsung selama 0,034 detik dengan adanya penutupan valve secara sempurna serta adanya pengurangan amplitudo hingga mencapai keadaan yang steady. Keadaan transient pada saat perhitungan numerik baik tekanan maupun debit aliran fluida akan mendekati keadaan pada literatur. Hal ini menandakan bahwa perhitungan numerik sangat akurat hingga mencapai keadaan pada literatur. Terdapat karakterisasi water hammer yang menyebabkan fenomena water hammer semakin besar antara lain: tekanan di dalam pipa semakin besar, aliran fluida di dalam pipa semakin cepat, waktu penutupan valve semakin cepat, dan panjang pipa lebih besar.

Kata kunci : water hammer, metode eksplisit finite difference Lax, tekanan, debit aliran fluida

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di Indonesia sangat pesat untuk mendorong manusia untuk terus melakukan berbagai macam penelitian maupun percobaan untuk mengembangkan dan menemukan cara-cara baru guna memberikan manfaat dan motivasi kepada manusia untuk menjalankan aktivitas. Khususnya, di bidang mekanika fluida, penelitian mengenai proses aliran fluida di dalam pipa sampai saat ini terus berkembang dan masih dilakukan.

Penelitian ini dapat diselesaikan baik secara eksperimen maupun secara numerik. Penelitian secara eksperimen membutuhkan biaya yang mahal dan proses yang rumit. Sementara itu, titik yang dapat diukur umumnya lebih terbatas. Sedangkan penelitian secara numerik membutuhkan biaya yang jauh lebih rendah dan waktu yang lebih cepat dan dapat menjangkau banyak titik pengamatan.

Proses aliran fluida di dalam pipa sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa komponen dasar yang berkaitan dari suatu sistem perpipaan adalah meliputi pipa-pipa itu sendiri, sambungan pipa yang digunakan untuk menyambung masing-masing pipa guna membentuk sistem yang diinginkan, peralatan pengatur laju aliran dan pompa-pompa atau turbin-turbin yang menambahkan energi atau mengambil energi dari fluida. Pada aliran fluida di dalam pipa, lapisan fluida pada dinding mempunyai kecepatan nol. Lapisan fluida pada jarak yang semakin jauh dari dinding pipa mempunyai

kecepatan yang semakin besar, dengan kecepatan maksimum terbesar terjadi pada pusat pipa. Pada kenyataannya, distribusi kecepatan aliran fluida dalam pipa bergantung pada jenis aliran dalam pipa. Jenis aliran juga memegang peranan penting dalam penentuan gaya friksi yang bekerja pada fluida.

Aliran fluida ini ada kaitannya dengan fenomena yang disebut sebagai fenomena water hammer. Fenomena water hammer adalah fenomena yang menyerupai suatu pukulan ketika aliran fluida yang berhenti secara mendadak dapat menimbulkan perubahan tekanan yang sangat tajam. Fenomena ini timbul adanya penutupan atau pembukaan valve secara mendadak serta adanya tekanan oleh variasi debit di dalam silinder. Ketika aliran di dalam silinder dihentikan secara mendadak atau ditutup valve secara mendadak, maka fluida yang mengalir akan kembali dan akan menghasilkan tekanan yang akan diterima silinder tersebut pada jalur balik silinder tersebut.

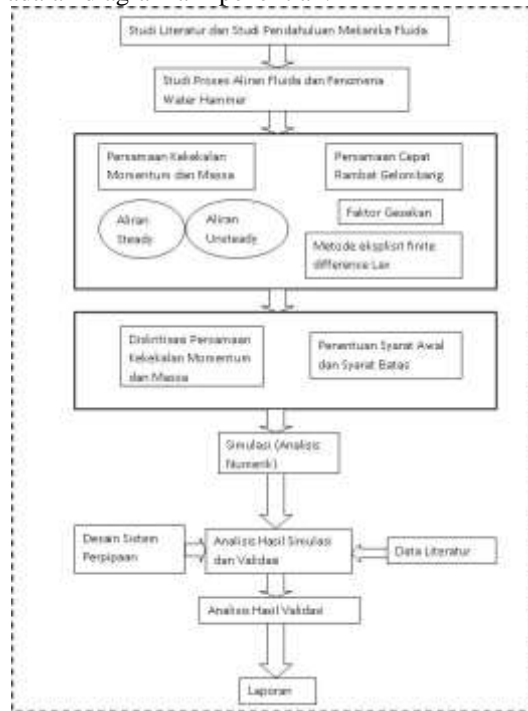
Penelitian tentang fenomena water hammer di setiap sistem instalasi perpipaan sangat diperlukan. Oleh karena itu, dikembangkan penelitian tentang pemodelan numerik water hammer dalam pipa dengan menggunakan metode eksplisit finite difference Lax karena metode ini persamaan aljabarnya dapat diselesaikan secara langsung dibandingkan dengan metode finite difference lainnya. Sedangkan metode finite difference lainnya dapat diselesaikan secara serentak dengan metode matriks. Parameter-parameter yang digunakan adalah diameter pipa, panjang pipa, ketebalan pipa, densitas

fluida, cepat rambat gelombang di dalam pipa, waktu, perubahan debit dan perubahan tekanan dalam fluida. Hasilnya berupa grafik tekanan terhadap waktu dan grafik debit terhadap waktu untuk mengetahui karakterisasi fenomena water hammer.

METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini merupakan awal dari rangkaian penelitian yang terkait pengembangan struktur perpipaan untuk meningkatkan performansinya. Gambar di bawah ini adalah diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

B. Persamaan

Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah persamaan kekekalan momentum dan persamaan kekekalan massa yang dirumuskan sebagai

1. Persamaan kekekalan momentum

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{1}{A} \frac{dQ}{dt} + \frac{fQ|Q|}{2DA^2} = 0 \quad (1)$$

2. Persamaan kekekalan massa

$$\frac{\rho a^2}{A} \frac{dQ}{dx} + \frac{dp}{dt} = 0 \quad (2)$$

Dimana p = tekanan head, Q = debit aliran fluida, ρ = densitas fluida, t = waktu, x = posisi dalam pipa, a = cepat rambat gelombang, D = diameter pipa, A = luas penampang pipa, dan f = faktor gesekan.

C. Analisis Numerik

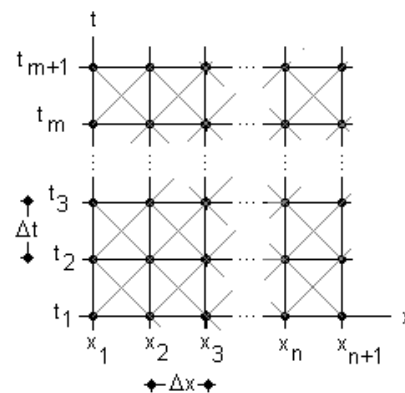
Analisis numerik yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui karakterisasi water hammer adalah

$$q_i^{j+1} = \frac{1}{2}(q_{i+1}^j + q_{i-1}^j) - \frac{1}{2} \frac{A \Delta t}{\rho \Delta x} (p_{i+1}^j - p_{i-1}^j) - \frac{f \Delta t}{8DA} |q_{i+1}^j + q_{i-1}^j| (q_{i+1}^j + q_{i-1}^j) \quad (3)$$

$$p_i^{j+1} = \frac{1}{2}(p_{i+1}^j + p_{i-1}^j) - \frac{1}{2} \frac{\rho a^2 \Delta t}{A \Delta x} (q_{i+1}^j - q_{i-1}^j) \quad (4)$$

D. Syarat Awal dan Batas

Syarat awal dan batas yang digunakan dalam penelitian ini adalah daerah pada ujung pipa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Syarat awal dan batas

Syarat awal dan batas pada metode eksplisit finite difference Lax digunakan untuk memodifikasi persamaan kekekalan momentum dan persamaan kekekalan massa.

Pemodelan syarat awal dan batas yang digunakan adalah pemodelan pada tekanan dan debit aliran fluida di ujung-ujung pipa. Berikut ini terdapat pemodelan syarat awal pada tekanan, antara lain:

$$p_1^j = p_0 \quad (5)$$

$$p_i^j = p_0 - x(j) \frac{f}{2\rho DA^2} q_i^j |q_i^j| \quad (6)$$

Sedangkan syarat batasnya adalah

$$p_1^{j+1} = p_N \quad (7)$$

Sedangkan pemodelan syarat awal pada debit aliran fluida antara lain:

$$q_i^1 = q_0 \quad (8)$$

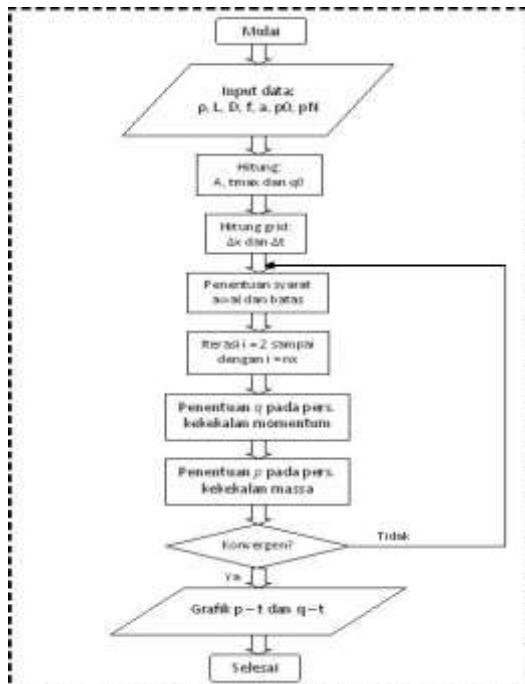
$$q_1^j = q_0 \sqrt{\frac{p_1^j}{p_0 - p_N}} \quad (9)$$

Jika penampang pipa ditutup sempurna ($A = 0$), maka syarat batasnya adalah

$$q_{N+1}^{j+1} = 0 \quad (10)$$

E. Pemrograman Komputer

Berikut ini terdapat diagram alir pada pemrograman komputer, yaitu:



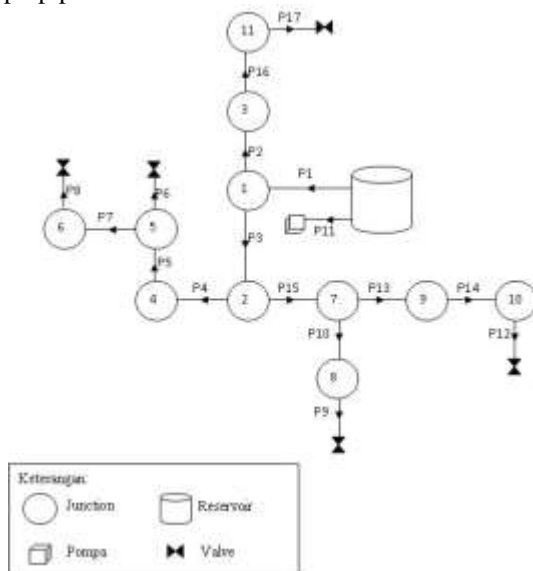
Gambar 3. Diagram alir pemrograman komputer

F. Metode Validasi

Metode validasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode yang dilakukan dalam literatur. Syarat awal dan batas yang digunakan adalah daerah pada ujung pipa.

G. Desain Sistem Perpipaan

Berikut ini terdapat rancangan atau desain sistem perpipaan.



Gambar 4. Desain sistem perpipaan

Dari rancangan sistem perpipaan tersebut diketahui bahwa

1. Ada 17 perpipaan untuk mengetahui karakterisasi fenomena water hammer.

2. Fluida yang digunakan adalah H₂O (air) dengan densitas fluida sebesar 998 kg/m³ serta modulus Bulk sebesar $2,2 \times 10^9$ N/m².

Material pipa yang digunakan adalah PVC dengan diameter sebesar 1 inch (0,0254 m), modulus elastisitas (Young) sebesar $3,4 \times 10^9$ N/m² dan ketebalan sebesar 0,005 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Spesifikasi Perpipaan

Berikut ini terdapat data spesifikasi perpipaan untuk mengetahui karakterisasi fenomena water hammer di dalam pipa. Data spesifikasi perpipaan tersebut berupa panjang pipa, diameter pipa, cepat rambat gelombang, faktor gesekan, tekanan yang masuk ke dalam pipa serta yang keluar dari pipa, debit aliran fluida dengan menggunakan perhitungan numerik dan pada literatur.

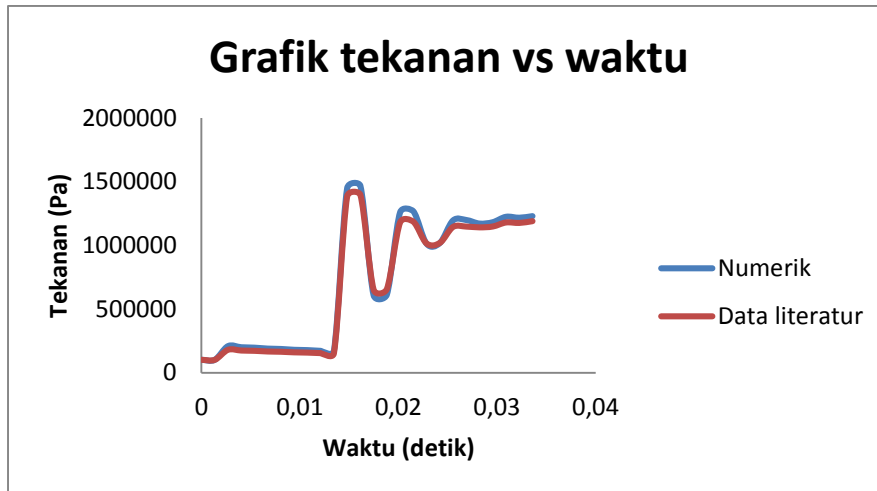
Tabel 1. Data spesifikasi perpipaan

Pipa	L	D	a	f	p0	pN	q01	q02
1	12	0.0254	714.338	0.0023	133450	120560	0.00247	0.0026
2	12	0.0254	714.338	0.0023	120560	114430	0.0017	0.0013
3	12	0.0254	714.338	0.0023	120560	113210	0.00187	0.0013
4	12	0.0254	714.338	0.0023	113210	101980	0.00231	0.0018
5	12	0.0254	714.338	0.0023	101980	100150	0.00093	0.0008
6	12	0.0254	714.338	0.0023	100150	100000	0.00027	0.0002
7	12	0.0254	714.338	0.0023	100150	100020	0.00025	0.0002
8	12	0.0254	714.338	0.0023	100020	100000	0.00009	0.0001
9	12	0.0254	714.338	0.0023	100100	100000	0.00022	0.0002
10	12	0.0254	714.338	0.0023	110440	100010	0.00222	0.0025
11	12	0.0254	714.338	0.0023	133450	109790	0.00335	0.0026
12	12	0.0254	714.338	0.0023	100010	100000	0.00007	0.0001
13	12	0.0254	714.338	0.0023	110440	109950	0.00048	0.0005
14	12	0.0254	714.338	0.0023	109950	100010	0.00217	0.0021
15	12	0.0254	714.338	0.0023	113210	110440	0.00115	0.0016
16	12	0.0254	714.338	0.0023	114430	100640	0.00257	0.0023
17	12	0.0254	714.338	0.0023	100640	100000	0.00055	0.0003

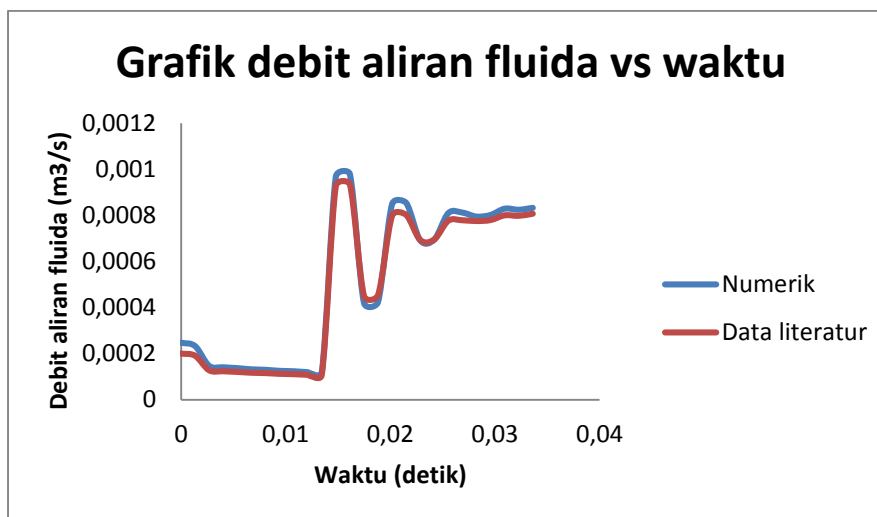
Dimana L = panjang pipa (m), D = diameter pipa (m), a = cepat rambat gelombang (m/s), f = faktor gesekan, p0 = tekanan masukan (Pa), pN = tekanan keluaran (Pa), q01 = debit aliran fluida hasil perhitungan numerik (m³/s), dan q02 = debit aliran fluida pada literatur (m³/s).

B. Hasil Tampilan Grafik

Berikut ini adalah hasil tampilan grafik tekanan dan debit aliran fluida secara numerik maupun literatur pada masing-masing pipa. Grafik tersebut terjadi seiring dengan adanya penutupan valve selama 0,034 sekon. Warna biru menunjukkan bahwa grafik tekanan dan debit aliran fluida terhadap waktu secara numerik. Warna merah menunjukkan bahwa grafik tekanan dan debit aliran fluida terhadap waktu pada literatur.



Gambar 5. Grafik tekanan terhadap waktu



Gambar 6. Grafik debit aliran fluida terhadap waktu

Dari Gambar 5 dan Gambar 6, diketahui bahwa keadaan dalam pipa ini secara transient (*unsteady*). Hal ini menandakan bahwa adanya penutupan *valve* secara sempurna serta adanya pengurangan amplitudo gelombang hingga mencapai keadaan yang stabil. Kondisi transient pada literatur akan mendekati kondisi transient pada saat perhitungan numerik. Hal ini menandakan bahwa perhitungan numerik sangat akurat hingga mencapai keadaan pada literatur.

C. Pembahasan

Dari hasil penelitian di atas, didapatkan bahwa semua aliran fluida di masing-masing pipa memiliki persamaan matematis yang sama, baik persamaan kekekalan momentum maupun persamaan kekekalan massa. Variabel yang digunakan adalah sama, tetapi nilainya berbeda, baik tekanan maupun debit aliran fluida sehingga diperoleh grafik pada masing-masing pipa.

Telah diketahui bahwa hasil tampilan grafik pada pipa 1 – 17 berupa tekanan dan debit aliran fluida. Hasil ini diketahui bahwa keadaan transient (*unsteady*)

berlangsung selama 0,034 detik. Hal ini menandakan dengan adanya penutupan *valve* secara sempurna serta adanya pengurangan amplitudo gelombang hingga mencapai keadaan yang steady.

Telah diketahui pula bahwa keadaan transient pada literatur baik tekanan maupun debit aliran fluida akan mendekati keadaan pada saat perhitungan numerik. Hal ini menandakan bahwa perhitungan numerik sangat akurat hingga mencapai keadaan pada literatur.

Untuk mengetahui karakterisasi water hammer dalam pipa, digunakan tabel perubahan tekanan dan debit aliran fluida pada keadaan transient baik secara numerik maupun literatur dan kemudian membandingkan antara kedua perlakuan tersebut.

Tabel 2. Perubahan tekanan pada keadaan transient baik secara numerik maupun literatur

Pipa	Numerik			Data literatur		
	P_{max}	P_{min}	ΔP (Pa)	P_{max}	P_{min}	ΔP (Pa)
1	1198037	133450	1064587	1180605	133450	1047155
2	1216061	120560	1095501	1182589	120560	1062029
3	1213525	120560	1092965	1155398	120560	1034838
4	1205726	113210	1092516	1174619	113210	1061409
5	1218343	101980	1116363	1192748	101980	1090768
6	1458564	100150	1358414	1357714	100150	1257564
7	1467645	100150	1367495	1396892	100150	1296742
8	1550826	100020	1450806	1558208	100020	1458188
9	1483086	100100	1382986	1460073	100100	1359973
10	1206597	110440	1096157	1188424	110440	1077984
11	1436274	125212	1311062	1188728	133450	1055278
12	1568666	100010	1468656	1518096	100010	1418086
13	1381297	110440	1270857	1381042	110440	1270602
14	1207294	109950	1097344	1206875	109950	1096925
15	1221747	113210	1108537	1105853	113210	992643
16	1201422	114430	1086992	1199995	114430	1085565
17	1342104	100640	1241464	1124906	100640	1024266

Tabel 3. Debit aliran fluida pada keadaan transient baik secara numerik maupun literatur

Pipa	Numerik	Data literatur
	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
1	0.00247	0.0026
2	0.0017	0.0013
3	0.00187	0.0013
4	0.00231	0.0018
5	0.00093	0.0008
6	0.00027	0.0002
7	0.00025	0.0002
8	0.00009	0.0001
9	0.00022	0.0002
10	0.00222	0.0025
11	0.00335	0.0026
12	0.00007	0.0001
13	0.00048	0.0005
14	0.00217	0.0021
15	0.00115	0.0016
16	0.00257	0.0023
17	0.00055	0.0003

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa perubahan tekanan dan debit aliran fluida terdapat perbedaan antara keadaan pada saat perhitungan numerik maupun pada literatur. Tetapi juga dapat menyebabkan fenomena water hammer di dalam pipa semakin besar karena adanya perubahan tekanan dan debit aliran fluida tersebut.

Oleh karena itu, terdapat karakterisasi water hammer yang dapat menyebabkan fenomena water hammer semakin besar, antara lain:

1. Tekanan di dalam pipa semakin besar.
2. Aliran fluida di dalam pipa semakin cepat.
3. Waktu penutupan valve lebih cepat.
4. Panjang pipa lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi maupun perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa

1. Hasil tampilan grafik tekanan terhadap waktu dan debit aliran fluida terhadap waktu terjadi dengan adanya penutupan *valve* secara sempurna serta adanya pengurangan amplitudo hingga mencapai keadaan yang steady.
2. Terdapat karakterisasi water hammer yang menyebabkan fenomena water hammer semakin besar antara lain: tekanan di dalam pipa semakin besar, aliran fluida di dalam pipa semakin cepat,

waktu penutupan valve semakin cepat, dan panjang pipa lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Swasta. 2011. Analisa Aliran Avtur dari Tangki hingga Header Pit di DPPU Ngurai Rai Denpasar-Bali melalui Simulasi. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Mimi Das Saikia and Arup Kumar Sarma. 2006. "Simulation of Water Hammer Flows with Unsteady Friction Factor". Journal of Engineering and Applied Science. Vol.1. no. 4.
- Nugroho, Arif Setyo. 2005. Analisa Tekanan Air Dengan Methode Pipe Flow Expert Untuk Pipa Berdiameter 1", 3/4" dan 1/2" Di Instalasi Pemipaan Perumahan. Laboratorium Mesin Fluida. Teknik Mesin. AT Warga Surakarta.
- Sulaksono, Agung Dwi. 2013. Perancangan Sistem Surge Absorber untuk Mencegah Terjadinya Water Hammer pada Pipeline Sistem Pendistribusian Avtur di DPPU Pertamina – Bandara Ngurah Rai. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Supardi. 2007. Persamaan Differensial Parsial. Surabaya. Bab 6.
- Supriyanta, Pipit. 2009. Studi Eksperimental Efek Water Hammer terhadap Deformasi Dinding Pipa dengan Variasi Penutupan Valve. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Tullis, J.P. 1989. Hydraulics of Pipelines – Pumps, Valves, Cavitation, Transients. John Wiley & Sons. New York.
- Zaruba, Josef. 1993. "Water Hammer in Pipeline Systems". Vltava Basin, Prague, Czechoslovakia.

SISTEM EKSTRAKSI CIRI SINYAL SUARA BERBASIS MEL DAN BARK FREQUENCY CEPTRAL COEFFICIENT

Karisma Trinanda Putra¹, Djoko Purwanto², Ronny Mardiyanto³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email : hello.karisma@gmail.com¹ , djoko@ee.its.ac.id², ronny@elect-eng.its.ac.id³

Abstrak

Teknologi pemrosesan sinyal digital telah berkembang pesat seiring dengan berkembangnya teknologi kecerdasan buatan. Penelitian ini berfokus pada ekstraksi ciri sinyal suara, khususnya sistem yang berbasis Mel Frequency Cepstrals Coefficients (MFCC) dan Bark Frequency Cepstrals Coefficients (BFCC). MFCC dan BFCC menggunakan pendekatan pemodelan dalam domain frekuensi. Pemodelan dalam domain frekuensi lebih mendekati persepsi yang dihasilkan telinga manusia yang berfungsi sebagai filter-filter untuk rentang frekuensi tertentu. Dalam penerapannya akan digunakan 24 filter bank untuk menghasilkan pemodelan tersebut. Penelitian ini juga akan membandingkan akurasi dari kedua metode tersebut. Untuk proses identifikasi sinyal, digunakan Neural Network. Hasil yang dicapai adalah sistem pengenalan ciri sinyal suara yang tahan noise dan konsisten terhadap variasi pengucapan. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada teknologi pengenalan ucapan khususnya pada sistem interaksi manusia mesin.

Kata kunci : Mel Frequency Cepstral Coefficients, Bark Frequency Cepstral Coefficients, Neural Network.

PENDAHULUAN

Ekstraksi ciri adalah suatu pengembangan teknik pemrosesan sinyal yang memungkinkan sistem untuk menerima masukan berupa sinyal suara dan menerjemahkannya dalam bentuk informasi. Pada sistem penerjemah ucapan, teknologi ini memungkinkan suatu perangkat untuk mengenali dan memahami frase/kata yang diucapkan. Bagian utama dari proses ini adalah ekstraksi ciri yaitu mengidentifikasi komponen sinyal audio yang baik, memisahkan konten linguistik dan membuang semua hal-hal lain yang tidak membawa informasi seperti kebisingan latar belakang, emosi, dan lain-lain.

Poin utama dalam memahami ucapan adalah bahwa suara yang dihasilkan manusia disaring oleh suatu *vocal tract*, termasuk lidah, gigi dan organ lainnya. Konfigurasi organ ini akan menentukan seperti apa pola suara yang keluar. Bentuk variasi *vocal tract* memanifestasikan dirinya sebagai filter spektrum daya dengan bandwidth tertentu dalam satuan waktu yang singkat. MFCC dan BFCC adalah pemodelan akurat yang dapat mewakili manifestasi ini.

Pada penelitian ini dihasilkan sebuah sistem ekstraksi ciri sinyal suara yang merepresentasikan informasi terkait sinyal tersebut. Sistem ini dapat diaplikasikan di pengenalan pola sinyal suara sehingga didapatkan ciri yang detail, tahan terhadap noise dan relatif konstan terhadap pengucapan yang bervariasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Secara garis besar, sistem pengenalan ucapan terdiri dari tiga bagian, yaitu deteksi suara, ekstraksi ciri dan pengenalan ciri. Deteksi suara merupakan proses pengenalan sinyal suara yang berisi informasi dan sinyal yang tidak berisi informasi. Ekstraksi ciri merupakan proses transformasi sinyal input ke dalam satu set vektor ciri yang merepresentasikan sinyal suara. Sedangkan pencocokan pola merupakan proses identifikasi pola sinyal yang baru dengan pola sinyal yang telah ada pada database. Pada penelitian ini setiap

sinyal kata yang berhasil diekstraksi akan dimodelkan menggunakan Neural Network.

Deteksi Suara

Voice Activity Detection (VAD) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendeteksi suara yang berisi informasi pada pengolahan sinyal. Manfaat deteksi suara adalah untuk membantu proses pengolahan sinyal untuk memberikan batasan yang jelas pada segmen sinyal yang berisi informasi. Algoritma yang digunakan adalah dengan mendeteksi energi rata-rata sinyal dalam periode tertentu.

Ekstraksi Ciri

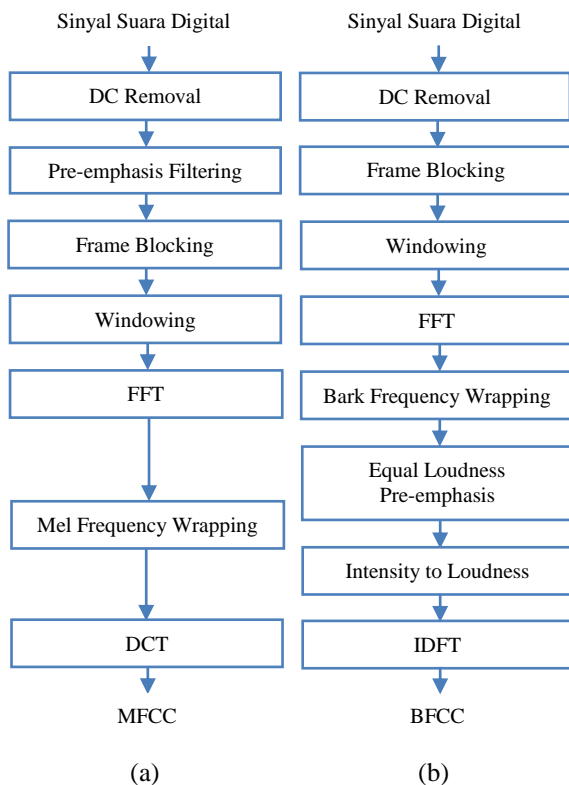
Sinyal suara adalah sinyal yang berubah terhadap waktu secara perlahan (quasi-stationary). Untuk rentang waktu yang pendek (antara 20 sampai 100 millisecond). Namun demikian untuk periode yang cukup panjang (200 millisecond atau lebih) karakteristik sinyal berubah yang mencerminkan perbedaan bunyi yang diucapkan. Oleh karena itu, short-time spectral analysis merupakan metode yang biasa digunakan untuk mengambil karakteristik sinyal suara. Kemudian untuk mendapatkan ciri yang lebih detail dan konstan terhadap amplitudo sinyal, maka digunakan sistem ekstraksi dengan MFCC dan BFCC.

Identifikasi Pola

Untuk memodelkan pola cepstral, digunakan Neural Network.

METODA

Pada penelitian ini, akan dibandingkan 2 sistem ekstraksi ciri sinyal yaitu Mel-Frequency Cepstrals Coefficient (MFCC) dan Bark-Frequency Cepstrals Coefficient (BFCC). Perbedaan utama dari metode ini terletak pada penggunaan filter bank dan proses penerjemahan nilai filter bank.



Gambar 1. Proses Ekstraksi Ciri Menggunakan
(a) MFCC dan (b) BFCC

DC Removal

Proses ekstraksi ciri sinyal dimulai dengan DC Removal yang bertujuan untuk menghitung rata-rata dari data sampel suara, dan mengurangi nilai setiap sampel suara dengan nilai rata-rata tersebut. Tujuannya adalah mendapat normalisasi dari data suara input.

$$y[n] = x[n] - \bar{x}, 0 \leq n \leq N-1$$

Dimana $y[n]$ = sampel signal hasil proses DC removal

$x[n]$ = sampel signal asli

\bar{x} = nilai rata-rata sampel signal asli.

N = panjang signal

2.3.3 Pre – emphasize Filetering

Pre–emphasize Filetering

Pre–emphasize Filetering merupakan salah satu jenis filter yang sering digunakan sebelum sebuah signal diproses lebih lanjut. Filter ini mempertahankan frekuensi-frekuensi tinggi pada sebuah spektrum, yang umumnya tereliminasi pada saat proses produksi suara. Tujuan dari Pre – emphasize Filetering ini adalah (Manunggal, 2005) :

Frame Blocking

Karena signal suara terus mengalami perubahan akibat adanya pergeseran artikulasi dari organ produksi vocal, signal harus diproses secara short segments (short frame). Panjang frame yang biasanya digunakan untuk pemrosesan signal adalah antara 10-30 milidetik. Panjang frame yang digunakan sangat mempengaruhi keberhasilan dalam analisa spektral. Di satu sisi, ukuran dari frame harus sepanjang mungkin untuk dapat menunjukkan resolusi frekuensi yang baik. Tetapi di lain sisi, ukuran frame juga harus cukup pendek untuk dapat menunjukkan resolusi waktu yang baik.

Proses frame ini dilakukan terus sampai seluruh signal dapat diproses. Selain itu, proses ini umumnya dilakukan secara overlapping untuk setiap frame-nya. Panjang daerah overlap yang umum digunakan adalah kurang lebih 30% sampai 50% dari panjang frame. Overlapping dilakukan untuk menghindari hilangnya ciri atau karakteristik suara pada perbatasan perpotongan setiap frame.

Windowing

Proses framing dapat menyebabkan terjadinya kebocoran spektral (spectral leakage) atau aliasing. Aliasing adalah signal baru dimana memiliki frekuensi yang berbeda dengan signal aslinya. Efek ini dapat terjadi karena rendahnya jumlah sampling rate, ataupun karena proses frame blocking dimana menyebabkan signal menjadi discontinue. Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kebocoran spektral, maka hasil dari proses framing harus melewati proses window.

Sebuah fungsi window yang baik harus menyempit pada bagian main lobe dan melebar pada bagian side lobe-nya.

Berikut ini adalah representasi dari fungsi window terhadap signal suara yang diinputkan.

$$x(n) = x_i(n)w(n) \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.5)$$

$x(n)$ = nilai sampel signal hasil windowing

$x_i(n)$ = nilai sampel dari frame signal ke i

$w(n)$ = fungsi window

N = frame size, merupakan kelipatan 2

Ada banyak fungsi window, namun yang paling sering digunakan dalam aplikasi speaker recognition adalah hamming window. Fungsi window ini menghasilkan sidelobe level yang tidak terlalu tinggi (kurang lebih -43 dB), selain itu noise yang dihasilkan pun tidak terlalu besar.

Fungsi Hamming window adalah sebagai berikut :

$$0.54 - 0.46 \cos 2\pi n / (M-1)$$

Dimana : $n = 0, 1, \dots, M-1$

M = panjang frame

Fast Fourier Transform (FFT)

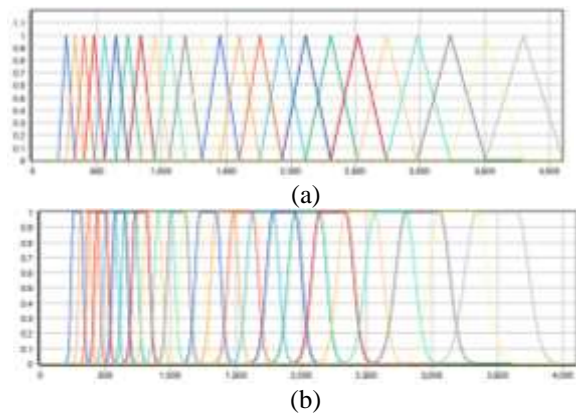
Analisis fourier adalah sebuah metode yang memungkinkan untuk melakukan analisa terhadap spectral properties dari signal yang diinputkan. Representasi dari spectral properties sering disebut sebagai spectrogram.

Dalam spectrogram terdapat hubungan yang sangat erat antara waktu dan frekuensi. Hubungan antara frekuensi dan waktu adalah hubungan berbanding terbalik. Bila resolusi waktu yang digunakan tinggi, maka resolusi frekuensi yang dihasilkan akan semakin rendah. FFT menjadi solusi yang dapat digunakan sebagai analisis fourier karena efektifitas dalam pemrosesan data.

Frequency Wrapping

Frequency Wrapping umumnya dilakukan dengan menggunakan Filterbank. Filterbank adalah salah satu bentuk dari filter yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ukuran energi dari frequency band tertentu dalam signal suara. Filterbank dapat diterapkan baik pada domain waktu maupun pada domain frekuensi, tetapi untuk keperluan MFCC, filterbank harus diterapkan dalam domain frekuensi. Gambar 2.9 menunjukkan dua jenis fileterbank magnitude. Dalam kedua kasus pada Gambar 2.9 filter

yang dilakukan adalah secara linear terhadap frekuensi 0-4 kHz.



Gambar 2.9 magnitude dari rectangular dan triangular filterbank

Filterbank menggunakan representasi konvolusi dalam melakukan filter terhadap signal. Konvolusi dapat dilakukan dengan melakukan multiplikasi antara spektrum signal dengan koefisien filterbank. Berikut ini adalah rumus yang digunakan dalam perhitungan filterbanks.

(2.7)

N = jumlah magnitude spectrum ($N \times N$)
 $S[j]$ = magnitude spectrum pada frekuensi j
 $H_i[j]$ = koefisien filterbank pada frekuensi j ($1 \leq i \leq M$)
 M = jumlah channel dalam filterbank

Persepsi manusia terhadap frekuensi dari signal suara tidak mengikuti linear scale. Frekuensi yang sebenarnya (dalam Hz) dalam sebuah signal akan diukur manusia secara subyektif dengan menggunakan mel scale. Mel frequency scale adalah linear frekuensi scale pada frekuensi dibawah 1000 Hz, dan merupakan logarithmic scale pada frekuensi diatas 1000 Hz.

Discrete Cosine Transform (DCT)

DCT merupakan langkah terakhir dari proses ekstraksi ciri dengan MFCC. Konsep dasar dari DCT adalah mendekorelasikan mel spectral sehingga menghasilkan representasi yang baik dari property spektral local. Pada dasarnya konsep dari DCT sama dengan inverse fourier transform. Namun hasil dari DCT mendekati Principle Component Analysis (PCA). PCA adalah metode static klasik yang digunakan secara luas dalam analisis dan kompresi data.

S_k = keluaran dari proses filterbank pada index k
 K = jumlah koefisien yang diharapkan

Koefisien ke nol dari DCT pada umumnya akan dihilangkan, walaupun sebenarnya mengindikasikan energi dari frame signal tersebut. Hal ini dilakukan karena, berdasarkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, koefisien ke nol ini tidak berkorelasi pengenalan ucapan.

Equal-Loudness Pre-emphasis

Langkah ini dilakukan untuk mengubah bobot besaran spektral. Untuk menghitung faktor Equal-Loudness digunakan persamaan berikut.

Intensity to Loudness

Hermansky [30] menyebut langkah ini untuk menggantikan konversi spektral dalam desibel.

Pendekatan yang digunakan adalah dengan akar pangkat tiga dari spektral energi.

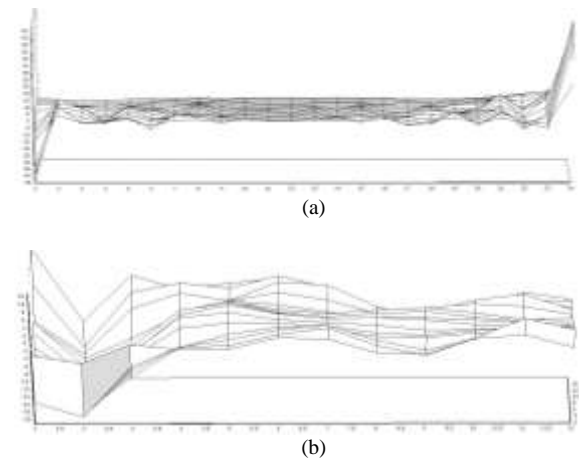
Invers Fourier Transform

Invers Fourier Transform merupakan langkah terakhir dari proses ekstraksi ciri dengan BFCC. Bentuk power spectral dalam domain frekuensi akan diubah menjadi domain waktu menggunakan Invers Discrete Fourier Transform (IDFT). Formula dari IDFT memenuhi persamaan berikut:

S_k = keluaran dari proses filterbank pada index k
 K = jumlah koefisien yang diharapkan

HASIL PENGUJIAN

Hasil ekstraksi ciri ditampilkan pada gambar (4) dimana sumbu x (lebar) sebagai banyak filter bank, sumbu y (tinggi) sebagai nilai cepstral dan sumbu z (kedalaman) sebagai banyak frame sinyal. Sinyal suara yang diekstrak adalah untuk pengucapan vokal 'a'. Perbedaan secara visual pada cepstral MFCC cenderung lebih variatif sedangkan pada cepstral BFCC lebih stabil mengikuti waktu kejadian spektral.



Gambar 4. Citra template yang digunakan pada pengujian

Hasil sistem pendeteksi obyek yang diterapkan pada citra dengan intensitas rendah ditunjukkan pada gambar 5(a). Sistem pendeteksi obyek mampu menemukan lokasi obyek yang dicari dalam waktu 96 ms. Kemudian kita bandingkan dengan citra yang mempunyai orientasi yang sama tetapi intensitas yang berbeda. Gambar 5(b) menunjukkan hasil sistem pendeteksi obyek mampu menemukan lokasi obyek dalam waktu 105 ms. Dari percobaan ini sistem pendeteksi obyek mampu menemukan obyek pada seting intensitas cahaya yang berbeda.

Pengujian sistem pendeteksi obyek dilanjutkan dengan mengubah orientasi obyek. Obyek dihadapkan ke arah kiri, dan ke arah kanan. Gambar 6(a) merupakan hasil pengujian saat obyek menghadap sebelah kanan. Lama proses pencarian adalah 104 ms. Dari pengujian yang dilakukan, menunjukkan bahwa sistem pendeteksi obyek mampu bekerja pada perbedaan orientasi obyek dan perbedaan intensitas cahaya.

TABEL I. Hasil Pengujian dengan variasi orientasi dan intensitas obyek

Intensitas	Jumla	Jumlah	Prosentas	Rata-
------------	-------	--------	-----------	-------

	h obyek	obyek yang ditemuk an	e keberhasi Lan (%)	rata waktu (ms)
Sangat rendah	30	24	80	108
Rendah	30	23	76.6	112
Normal	30	28	93.3	104
Tinggi	30	26	86.6	107
Sangat tinggi	30	21	70	115
Total	150	122	81.3	109

Sistem pendeteksi obyek selanjutnya diuji dengan beberapa data yang memiliki perbedaan orientasi dan intensitas cahaya. Seting percobaan dilakukan dengan jumlah obyek yang dideteksi memiliki 30 orientasi dengan 5 level intensitas cahaya sehingga menghasilkan 150 variasi. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada tabel 1.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem pendeteksi obyek mampu menemukan lokasi obyek pada beberapa variasi orientasi dan intensitas. Pada intensitas yang sangat tinggi atau sangat rendah muncul error yang lebih besar dari intensitas normal. Tingkat keberhasilan mencapai 81.3 % dengan rata-rata waktu pencarian 109 ms. Jika waktu pencarian sebesar 109 ms maka *frame rate* yang diperoleh adalah 9.17 fps. Dengan *frame rate* 9.17 fps maka sistem pendeteksi obyek telah bisa diaplikasikan pada service robot.

DAFTAR PUSTAKA

D. Hanebeck, Kai. Briechle (2001), *Template matching using Fast Normalized Cross Correlation*,

Proc. SPIE 4387, Optical Pattern Recognition XII, 95.

- D. Nadir Nourain, S. Brahim Belhaouari, J. Josefina (2011), *Fast Template matching Method Based Optimized Sum of Absolute Difference Algorithm for Face Localization*, International journal of computer application, vol. 18, 30-34.
- H. Rami, M. Hamri, Lh. Masmoudi (2013), *Object tracking in image sequence using local binary pattern (LBP)*, International journal of computer application, vol. 63, 20-23.
- Hui. Dong, Yuan. Han Dian (2012), *Research of Image Matching Algorithm Based on SURF Features*, 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP), 1140-1143.
- Lee. Kwon, Lee. Chulhee, Seon. Ae Kim, Young, Hoon Kim (2012), *Fast object detection based on color histograms and local binary patterns*, TENCON 2012 - 2012 IEEE Region 10 Conference., 1-4.
- M. J. Swain, D. H. Ballard (1991), *Color indexing*, International Journal of Computer Vision, vol. 7, no. 1, pp. 11-32.
- Soebhakti. Hendawan, (2012). *Pengembangan Sistem Navigasi Mobile Robot Berdasarkan ekstraksi Ciri Lingkungan Koridor Gedung Menggunakan Sensor RGB-DEPTH*, Thesis program magister Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Vanne et al, (2006). *A High-Performance Sum of Absolute Difference Implementation for Motion Estimation*, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, vol.16, no.7, pp.876-883.

(PENYELESAIAN PERSAMAAN DIRAC PADA POTENSIAL POSCHL-TELLER TRIGONOMETRIK PLUS POTENSIAL TENSOR TIPE COULOMB UNTUK KASUS PSEUDOSPIN SIMETRI MENGGUNAKAN POLINOMIAL ROMANOVSKI)

Kholida Ismatulloh¹, Cari², Suparmi³
^{1,3} Jurusan Ilmu Fisika Program Pascasarjana
Universitas Sebelas Maret Surakarta
Email : kholida.ismaza@gmail.com

Abstrak

Energi relativistik dan fungsi gelombang untuk potensial Poschl-Teller trigonometrik dengan potensial tensor tipe Coulomb pada kasus Pseudospin simetri diperoleh dari penyelesaian persamaan Dirac menggunakan metode Polinomial Romanovski. penyelesaian persamaan Dirac dengan polinomial Romanovski dilakukan dengan cara mereduksi persamaan diferensial orde dua menjadi persamaan tipe hipergeometri melalui substitusi variabel dan fungsi gelombang yang sesuai. Dengan membandingkan persamaan tipe hipergeometri dan persamaan diferensial standar untuk polinomial Romanovski diperoleh persamaan energi relativistik dan fungsi bobot. Energi relativistik diperoleh dari penyelesaian persamaan energi relativistik dengan menggunakan metode numerik menggunakan software Matlab 2011. Fungsi gelombang relativistik diperoleh dari fungsi bobot dan dinyatakan dalam bentuk polynomial Romanovski, baik untuk komponen bawah dan atas dari spin Dirac.

Kata kunci: Persamaan Dirac, Potensial Poschl-Teller trigonometrik, Potensial tensor tipe Coulomb, Polinomial Romanovski, dan Pseudospin Simetri.

PENDAHULUAN

Persamaan Dirac mendeskripsikan perilaku benda-benda subatomik yang ber-spin $\frac{1}{2}$ pada elektron untuk potensial *shape invariance* sentral maupun non-sentral telah dikaji oleh beberapa peneliti dengan menggunakan metode Nikivarop Uvarop (NU) menurut Greene dan Aldrich [Arda, Cari, Greene, and Ikhdair, 2012, 2010, 1976, 2013]. Potensial fisis tersebut banyak digunakan untuk mendeskripsikan efek relativistik pada energi vibrasi-rotasi pada molekul yang berstruktur kompleks. Dengan mengasumsikan bahwa potensial skalar sama dengan potensial vektor maka persamaan Dirac tereduksi menjadi persamaan yang mirip/setipe dengan persamaan Schrodinger. Dengan demikian persamaan Dirac satu dimensi dapat dipecahkan dengan metode yang digunakan untuk memecahkan persamaan Schrodinger. Persamaan Dirac untuk beberapa potensial hanya bisa memecahkan kasus spin simetri dan pseudospin simetri. Pada paper ini energi relativistik dan fungsi gelombang untuk potensial Poschl-Teller trigonometrik plus potensial tensor tipe Coulomb secara spasial dianalisis dengan polinomial Romanovski. Polinomial Romanovski pada awalnya diusulkan oleh S.J Routh dan 45 tahun kemudian dikaji ulang oleh V.I Romanovski.

METODE POLINOMIAL ROMANOVSKI

Persamaan Dirac untuk potensial Poschl-Teller Trigonometrik plus potensial tensor tipe Coulomb.

Persamaan Schrodinger relativistik disebut sebagai persamaan Klein Gordon untuk spin bilangan bulat dan persamaan Dirac untuk spin $\frac{1}{2}$. Deskripsi secara kuantitatif gerak partikel relativistik yang dipengaruhi oleh gaya medan yang direpresentasikan sebagai energi potensial partikel yang ber-spin $\frac{1}{2}$ tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial yang disebut sebagai persamaan Dirac yaitu sebagai berikut, $\{\vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \beta(M + V_s(r)) - i\beta \vec{\alpha} \cdot \vec{r} U(r)\} \psi(\vec{r}) = \{E - V_v(r)\} \psi(\vec{r})$ (1)

Potensial Poschl-Teller trigonometrik merupakan bentuk potensial fungsi radial r . Sehingga persamaan potensial Poschl-Teller trigonometrik [Suparmi, 2011] dinyatakan dalam persamaan (2),

$$V(r) = \left(\frac{a(a-1)}{\sin^2 tr} + \frac{b(b-1)}{\cos^2 tr} \right) \quad (2)$$

Potensial tensor tipe Coulomb $U(r)$ yang dinyatakan dengan persamaan (3).

$$U(r) = -\frac{H}{r} \quad (3)$$

Persamaan (2) dan (3) dimasukkan ke persamaan (1) maka didapatkan persamaan (4) yaitu:

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa+1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) - \frac{dU(r)}{dr} - U^2(r) \right] F_{nk}(r) + \frac{\frac{d\Delta(r)}{dr}}{M+E_{nk}-\Delta(r)} \left(\frac{d}{dr} + \frac{\kappa}{r} - U(r) \right) F_{nk}(r) = [(M + E_{nk} - \Delta(r))(M - E_{nk} + \Sigma(r))] F_{nk}(r), \quad (4a)$$

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa-1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) + \frac{dU(r)}{dr} - U^2(r) \right] G_{nk}(r) + \frac{\frac{d\Sigma(r)}{dr}}{M+E_{nk}-\Sigma(r)} \left(\frac{d}{dr} - \frac{\kappa}{r} + U(r) \right) G_{nk}(r) = [(M + E_{nk} - \Delta(r))(M - E_{nk} + \Sigma(r))] G_{nk}(r), \quad (4b)$$

Dimana $\kappa(\kappa-1) = \tilde{l}(\tilde{l}+1)$ dan $\kappa(\kappa+1) = l(l+1)$. κ adalah nomer kuantum yang berhubungan dengan nomer kuantum untuk spin simetri l dan pseudospin simetri \tilde{l} adalah untuk,

$$\kappa < 0 \text{ syaratnya } \kappa = -(l+1) = -\left(j + \frac{1}{2}\right) \rightarrow l + \frac{1}{2}, \kappa > 0 \kappa = l = \left(j + \frac{1}{2}\right) \rightarrow j = l - \frac{1}{2} \quad (5)$$

Polinomial Romanovski

Persamaan diferensial Hipergeometri yang dapat diselesaikan dengan metode Polinomial Romanovski memiliki bentuk sebagai berikut:

$$(1+s^2) \frac{\partial^2 R_n^{(p,q)}(s)}{\partial s^2} + \{2s(-p+1) + q\} \frac{\partial R_n^{(p,q)}(s)}{\partial s} - \{n(n-1) + 2n(1-p)\} D_n^{(p,q)}(s) = 0 \quad (6)$$

Dengan $D_n^{(p,q)}$ adalah polinomial Romanovski. Fungsi gelombang untuk polinomial Romanovski dinyatakan dengan

$$\chi(r) = g_n(s) = (1 + s^2)^{-\frac{p}{2}} e^{\frac{q}{2} \tan^{-1}(s)} D_n^{(p,q)}(s) \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelesaian persamaan Dirac potensial Manning Rosen hiperbolik dengan potensial tensor tipe Coulomb menggunakan metode polinomial Romanovski [Suparmi et al, 2013 and 2014] untuk bagian radial pada kasus spin simetri komponen atas dilakukan substitusi persamaan (2) dan (3) ke persamaan (4a), sehingga diperoleh bentuk:

$$\left\{ \frac{d^2}{dr^2} - \frac{t^2(\kappa+H+1)(\kappa+H)+a(a-1)(M-E_{nk}+C_{ps})}{\sin^2 tr} - \frac{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps})}{\cos^2 tr} - (M+E_{nk})(M-E_{nk}+C_{ps}) \right\} G_{nk}(r) = 0 \quad (8)$$

untuk mempermudah perhitungan secara matematis, $R_{ps} = (\kappa + H - 1)(\kappa + H) + a(a - 1)(M - E_{nk} + C_{ps})$ (9)

$$K_{ps} = b(b - 1)(M - E_{nk} + C_{ps}) \quad (10)$$

$$W_{ps} = (M - E_{nk} + C_{ps})(M + E_{nk}) \quad (11)$$

Maka persamaan (6) dapat dituliskan kembali menjadi persamaan yang mirip dengan persamaan Schrodinger yaitu,

$$\left\{ \frac{d^2 G_{nk}}{dr^2} - \frac{t^2 R_{ps}}{\sin^2 tr} - \frac{t^2 K_{ps}}{\cos^2 tr} - \frac{W_{ps}}{t^2} \right\} G_{nk}(r) = 0 \quad (12)$$

Dengan mensubstitusi variabel, $\cos 2tr = is$, pada persamaan (12) dimana $-\infty < s < \infty$, kita dapatkan:

$$(1 + s^2) \frac{d^2 G_{nk}(r)}{ds^2} + s \frac{dG_{nk}(r)}{ds} - \left\{ \left(-\frac{R_{ps} + K_{ps}}{2(1 + s^2)} \right) + \left(-\frac{R_{ps} - K_{ps}}{2(1 + s^2)} \right) is + \left(\frac{W_{ps}}{4t^2} \right) \right\} G_{nk}(r) = 0 \quad (13)$$

Untuk memecahkan persamaan (13), kita menggunakan persamaan (6) yang merupakan fungsi gelombang baru,

$$G_{nk} = (1 + s^2)^{\frac{\beta}{2}} e^{\frac{-\alpha}{2} \tan^{-1}(s)} D_n^{(\beta, \alpha)}(s) \quad (14)$$

Setelah itu memanipulasikan persamaan (12) dan (13), kita dapatkan,

$$(1 + s^2) \frac{\partial^2 D_n^{(-\beta + \frac{1}{2} - \alpha)}(s)}{\partial s^2} + (2\beta s - \alpha + s) \frac{\partial D_n^{(-\beta + \frac{1}{2} - \alpha)}(s)}{\partial s} - \left(\frac{2\beta^2 - 2\beta - \alpha s + 2\alpha\beta s - \frac{\alpha^2}{2} + (-R_{ps} - K_{ps})is + (-R_{ps} + K_{ps})}{2(1 + s^2)} + \frac{W_{ps}}{4t^2} - \beta^2 \right) D_n^{(-\beta + \frac{1}{2} - \alpha)}(s) = 0 \quad (15)$$

Persamaan (15) dibuat menjadi persamaan diferensial orde dua polinomial Romanovski, dengan menjadikan yang berpenyebut $2(1 + s^2) = 0$, sehingga berlaku:

$$\frac{(M - E_{nk} + C_{ps})(M + E_{nk})}{4t^2} - \beta^2 \quad (16)$$

Sehingga persamaan (12) sebelumnya menjadi,

$$(1 + s^2) \frac{\partial^2 D_n^{(-\beta + \frac{1}{2} - \alpha)}(s)}{\partial s^2} + (2\beta s - \alpha + s) \frac{\partial D_n^{(-\beta + \frac{1}{2} - \alpha)}(s)}{\partial s} - \left(\frac{W_{ps}}{4t^2} - \beta^2 \right) D_n^{(-\beta + \frac{1}{2} - \alpha)}(s) \quad (17)$$

Dengan membandingkan parameter pada persamaan (6) dan (17), kita dapatkan hubungan sebagai berikut, $(2\beta + 1) = 2(-p + 1)$ dan $\alpha = -q$ (18a)

$$\left(\frac{W_{ps}}{4t^2} \right) - \beta^2 = n(n - 1) + n(2\beta + 1) \quad (18b)$$

Dari persamaan (18) didapatkan nilai β yaitu,

$$\beta = \frac{\sqrt{a(a-1)(M-E_{nk}+C_{ps})+\frac{1}{4}+(\kappa+H-1)(\kappa+H)} + \sqrt{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps})+\frac{1}{4}+1}}{2} \quad (19)$$

dan nilai α nya sebagai berikut,

$$\alpha = i \left(\sqrt{a(a-1)(M-E_{nk}+C_{ps})+\frac{1}{4}+(\kappa+H-1)(\kappa+H)} - \sqrt{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps})+\frac{1}{4}} \right) \quad (20)$$

Persamaan (19) dimasukkan ke dalam persamaan (16) maka didapatkan,

$$(M - E_{nk} + C_{ps})(M + E_{nk}) = t^2 \left(\sqrt{a(a-1)(M-E_{nk}+C_{ps})+\frac{1}{4}+(\kappa+H-1)(\kappa+H)} + \sqrt{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps})+\frac{1}{4}+1+2n} \right)^2 \quad (21)$$

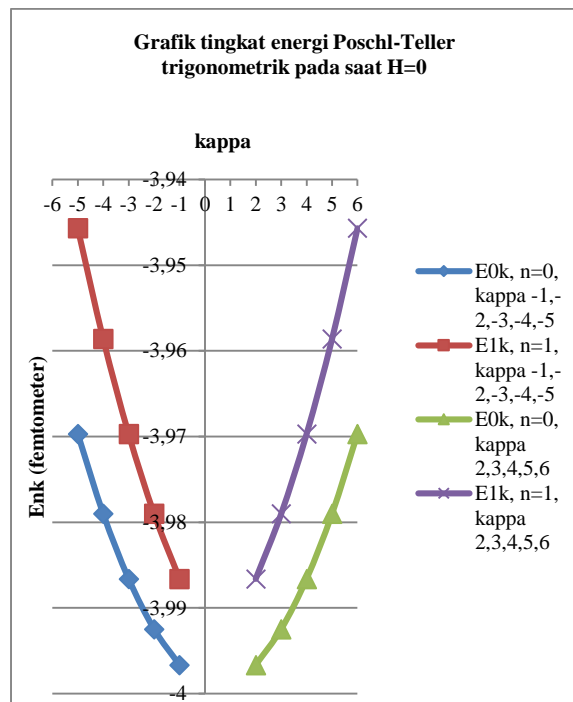
Persamaan (21) merupakan nilai energi relativistik untuk potensial Poschl-Teller trigonometrik plus potensial Tensor tipe Coulomb untuk kasus Pseudospin simetri komponen bawah pada Dirac Spinor. Hasil perhitungan energi relativistik tersebut diatas dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini,

TABEL I

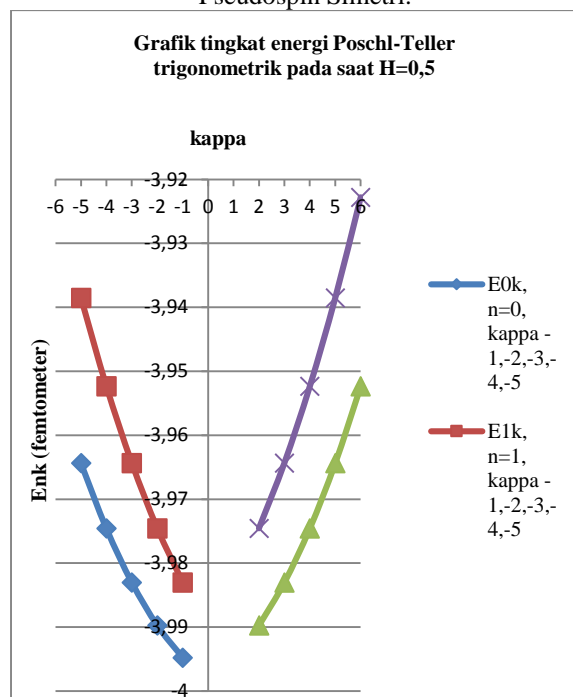
Nilai Energi Relativistik pada Potensial Poschl-Teller Trigonometrik untuk Kasus Pseudospin Simetri dimana $M = 1 fm^{-1}$, $t = 0,05 fm$, $a = -0,002 fm^{-1}$, $b = 0,003 fm^{-1}$, dan $C_{ps} = -5 fm^{-1}$.

Untuk $\kappa = l + 1$			$\kappa > 0$ $j = l - \frac{1}{2}$	E_{nk} $H_0 = 0$	E_{nk} $H_1 = 0, 5$
l	n	κ			
1	0	2	$0s_{1/2}$	-3,99666	-3,98976
2	0	3	$0d_{3/2}$	-3,99248	-3,98303
3	0	4	$0f_{5/2}$	-3,98661	-3,97458
4	0	5	$0g_{7/2}$	-3,97902	-3,96437
5	0	6	$0h_{9/2}$	-3,96969	-3,95237
1	1	2	$1s_{1/2}$	-3,98661	-3,97458
2	1	3	$1p_{3/2}$	-3,97902	-3,96437
3	1	4	$1d_{5/2}$	-3,96969	-3,95237
4	1	5	$1f_{7/2}$	-3,95860	-3,93854
5	1	6	$1g_{9/2}$	-3,94569	-3,92281
Untuk $\kappa = -l$			$\kappa < 0$ $j = l + \frac{1}{2}$	E_{nk} $H_0 = 0$	E_{nk} $H_1 = 0, 5$
l	n	κ			
1	0	-1	$0p_{3/2}$	-3,99666	-3,99479
2	0	-2	$0d_{5/2}$	-3,99248	-3,98976
3	0	-3	$0f_{7/2}$	-3,98661	-3,98303
4	0	-4	$0g_{9/2}$	-3,97902	-3,97458

5	0	-5	$0h_{11/2}$	-3,96969	-3,96437
1	1	-1	$1p_{3/2}$	-3,98661	-3,98303
2	1	-2	$1d_{5/2}$	-3,97902	-3,97458
3	1	-3	$1f_{7/2}$	-3,96970	-3,96437
4	1	-4	$1g_{9/2}$	-3,95860	-3,95237
5	1	-5	$1h_{11/2}$	-3,94569	-3,93854



Gambar. 1 Grafik tingkat energi potensial Poschl-Teller trigonometrik variasi nilai kappa saat H=0 untuk kasus Pseudospin Simetri.



Gambar. 2 Grafik tingkat energi potensial Poschl-Teller trigonometrik variasi nilai kappa saat H=0,5 untuk kasus Pseudospin Simetri.

KESIMPULAN

Penyelesaian persamaan Dirac potensial Poschl-Teller Trigonometrik plus potensial tensor tipe Coulomb untuk kasus pseudospin simetri menggunakan polynomial Romanovski. Apabila $H=0$ maka nilai $\kappa > 0 = \kappa < 0$ pada saat n tertentu, sedangkan pada saat $H>0$ maka nilai energi $\kappa > 0 \neq \kappa < 0$ ini sesuai dengan aturan (n, κ , dan H_1) pada kasus ini terjadi proses degenerasi energi pada nukleon. Pada kasus pseudospin simetri hasilnya selalu negatif yang dihitung dengan menggunakan pemrograman Matlab 2011.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Hibah Peneliti Utama (PUT UNS) 2014 dan DIKTI No. kontrak 165a/UN27.11/PN2013.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Suparmi., C. Cari., and Deta. Exact Solution of Dirac Equation for Scarf potential with New Tensor Coupling potential for Spin and Pseudospin Symmetries Using Romanovski Polynomial. Diterima untuk dipublikasikan pada *Journal Chinese Physics B sebagai artikel No. 140287*. Akan dipublikasikan pada juli 2014 sampai halaman 12.
- A. Suparmi., C. Cari. Solution of Dirac Equation for q-Deformed Eckart potensial with Yukawa-type Tensor Interaction for Spin dan Pseudospin simetry Using Romanovski Polynomial. *Atom Indonesia Vol. 39. No. 3*. 2013 hal 112-123.
- Arda A, Server R. 2012. Non central potential, exact solution and laplace transform approach. *Arxiv:1202.4271v (math-ph)*.
- C. Cari., A. Suparmi. 2012. Approximate Solution of Schrodinger equation for Trigonometric Scarf Potential with the Poschl-Teller Non-central Potential Using NU Method. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)* ISSN: 2278-4861, Vol. 2 Issue 3, pp. 13-23.
- C. Cari., A. Suparmi., U. A Deta. Solution of Dirac Equation for Cotangent Potential with Coulomb- type Tensor Interaction for Spin and Pseudospin Symetry Using Romanovski Polynomial. *Makara journal of Science. Vol. 17. No. 3*. 2013. Hal 93-102.
- Greene R L., and Aldrich C. 1976. *Phys. Rev. A* 142363.
- Ikhdaier S M., and Sever R 2010. *Applied Math Comput.* 216 911.
- Cari. *Mekanika Kuantum*. Cetakan pertama. Surakarta, UNS PRESS 2013.
- Suparmi. *Mekanika Kuantum II*. Cetakan pertama. Surakarta. Jurusan Fisika MIPA UNS. 2011.

ANALISIS METODE LINTASAN FEYNMAN PADA INTERFERENSI 1, 2 DAN 3 CELAH

Mahendra Satria Hadiningrat¹, Endarko¹, Bintoro Anang Subagyo¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Email : mahendrasatriahadiningrat@yahoo.com¹, endarko@gmail.com², b_anang@physics.its.ac.id³

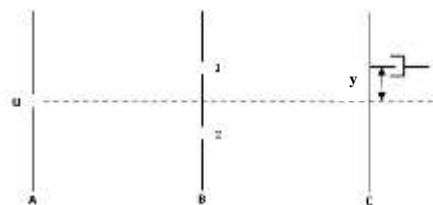
Abstrak

Telah didapat solusi analitik interferensi 1, 2 dan 3 celah berdasar metode Integral Lintas Feynman dengan pendekatan difraksi Fresnel dan Fraunhofer. Penurunan formula tersebut sangat rumit, oleh karena itu, secara lebih sederhana diaplikasikan Pinsip aksi klasik sebagai dasar awal penurunan formula tersebut. Metode ini digunakan untuk menghitung probabilitas partikel elektron yang mungkin melewati 1, 2 dan 3 celah sebagai hasil dari pola interferensi yang terdeteksi pada layar dan direpresentasikan dalam grafik.

Kata kunci : Difraksi Fresnel dan Fraunhofer, Integral Lintas Feynman.

PENDAHULUAN

Thomas Young (1773-1829) menunjukkan eksperimen terkenalnya yaitu difraksi celah ganda menggunakan sumber sinar monokromatik, sinar tersebut masuk melalui 2 celah sempit dan diteruskan sampai ke layar. Eksperimen tersebut memperlihatkan pola interferensi (terang-gelap) pada layar. Efek interferensi ini dijelaskan dalam kerangka optika klasik melalui prinsip Huygens-Fresnel. Prinsip ini memberikan penjelasan detail tentang proses difraksi dimana tiap celah diterapkan penjalaran gelombang sferis. Diterapkan konsep mekanika kuantum untuk mendeskripsikan eksperimen ini, salah satunya adalah fenomena perjalanan partikel terhambur, misalnya elektron atau foton. Untuk tinjauan kuantum, yang terlintas adalah seberapa besar probabilitas partikel yang terhitung melalui 2 celah sebagai hasil dari pola interferensi yang terdeteksi pada layar. Dasar untuk menjawab pertanyaan tersebut adalah dengan metode lintasan Feynman (R.P. Feynman, 1963). Set eksperimen yang berhubungan dengan terhamburnya partikel adalah fenomena interferensi celah ganda seperti pada Gambar 1.

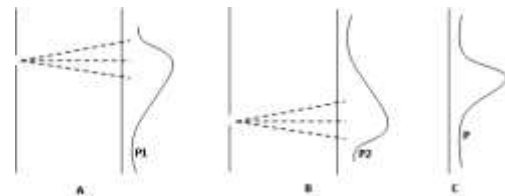


Gambar 1. Set eksperimen interferensi celah ganda

Partikel terhambur di O sebelum mencapai detector di y yang bergerak sampai ke layar C, partikel bergerak melalui celai 1 dan 2 dengan asumsi sebagai berikut :

- Jika celah 2 ditutup, partikel hanya melewati celah 1 maka distribusi probabilitas partikel yang tercatat pada layar C adalah P_1 (Gambar 2A),

- Jika celah 1 ditutup, partikel hanya melewati celah 2, maka distribusi probabilitas partikel yang tercatat pada layar C adalah P_2 (Gambar 2B).



Gambar 2. Distribusi probabilitas kehadiran partikel di detektor y pada layar C

Dari pernyataan di atas bahwa jika celah 1 dan 2 dibuka maka distribusi probabilitas partikel pada layar C merupakan jumlahan $P = P_1 + P_2$ dan membentuk kurva seperti pada Gambar (2C).

Namun, kenyataan secara eksperimen yang teramati tidak demikian $P \neq P_1 + P_2$, melainkan terdapat fluktuasi dari distribusi partikel yang tertangkap di detektor pada layar C sesuai Gambar (1). Fenomena ini menunjukkan bahwa trayektori partikel dari sumber O menuju detektor mempunyai banyak (alternatif) lintasan seperti pada Gambar (4), bahkan ada yang bergerak zig-zag diantara layar A dan B sebelum mencapai layar C. Lintasan-lintasan inilah yang menggugah inspirasi Feynman untuk mempermudah formulasi pendahulunya dan bermakna lebih fisis. Konsep ini sangat menarik karena menganalisa alternatif lintasan/ perjalanan partikel yang mungkin dan distribusi probabilitas partikel sebagai pembentuk pola interferensi.

FORMULASI FEYNMAN

Integral Lintas Feynman adalah kerangka untuk memformulasikan teori kuantum. Teori Integral tersebut dikembangkan pertama kali oleh P.A.M Dirac (1933) dan R.P Feynman (1948). Integral lintas merupakan dasar untuk menjelaskan teori kuantum, perumusan terakhir integral lintas sangat sederhana namun proses penurunan

membutuhkan matematika rumit. Untuk menghindari permasalahan tersebut, diaplikasikan metode analisis fungsional karena kuantitas fundamental berdasarkan komutasi dari pada operator aljabar dan didasarkan pada Prinsip Aksi Klasik. Dari metode inilah aturan Feynman dapat disederhanakan dengan mudah.

Jika partikel berada di posisi x_a , waktu t_a dan di x_b , waktu $t_b > t_a$ diberikan prinsip Aksi melalui pendekatan klasik bernilai minimum

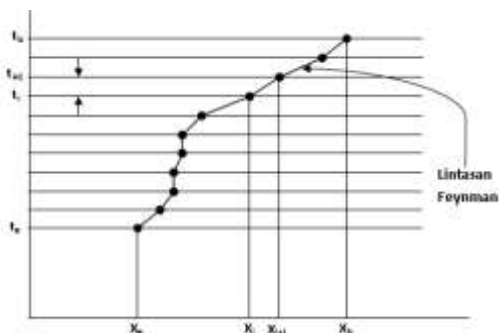
$$\frac{\delta}{\delta x(t)} S[x_b, t_b; x_a, t_a]_{x_{\text{parabel}}} = 0$$

Dimana

$$S[x_b, t_b; x_a, t_a] \equiv \int_{t_i}^{t_f} L[x(t), \dot{x}(t), t] dt$$

Konsep probabilitas dalam mekanika kuantum menggunakan prinsip superposisi, yang diartikan sebagai probabilitas total atau jumlahan semua probabilitas yang mungkin untuk tiap lintasan yang berbeda. Untuk tiap satu lintasan kecil $m-n$ berada diantara titik x_i dan x_{i+1} dengan interval waktu $\varepsilon = t_{i+1} - t_i$ (Gambar (3)), dimana proses ini dapat dilakukan dengan tak hingga/ alternatif lintasan yang mungkin, lintasan inilah yang menggugah inspirasi Feynman untuk menghitung formula integral lintas (Gambar (4)). Dari prinsip Aksi di atas, diberikan jumlahan dari tiap aksi (lintasan kecil $m-n$) untuk satu lintasan dari posisi x_a ke x_b (Gambar (3))

$$S[x_b, t_b; x_a, t_a] = \sum_i \left\{ \frac{m}{2} \frac{(x_{i+1} - x_i)^2}{\varepsilon} - \varepsilon V \left(\frac{x_{i+1} + x_i}{2} \right) \right\}$$

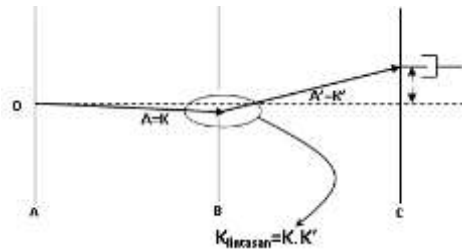


Gambar 3. Plot waktu terhadap posisi, integral lintasan partikel bergerak dari posisi x_a ke x_b , interval waktu dari t_a ke t_b dengan batasan waktu $\varepsilon \rightarrow 0$

Dari Gambar (3), seluruh alternatif lintasan dapat diartikan sebagai Amplitudo (Kernel (K)) untuk partikel yang bergerak dari posisi x_a waktu t_a ke posisi x_b waktu t_b atau perkalian amplitudo dari masing-masing lintasan $m-n$ diberikan

$$K \approx \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\text{const}} \int \dots \int e^{\frac{i}{\hbar} S[x(t)]} \frac{dx_1}{\text{const}} \dots \frac{dx_{n-1}}{\text{const}}$$

Untuk lebih mudah memahami formula di bawah ini secara riil, diberikan set eksperimen interferensi menggunakan 1 celah (Gambar (4)),



Gambar 4. Lintasan partikel pada eksperimen 1 celah

Dalam konsep mekanika kuantum, Amplitudo lintasan total untuk 1 celah sama dengan perkalian amplitudo (K) dan (K') diberikan

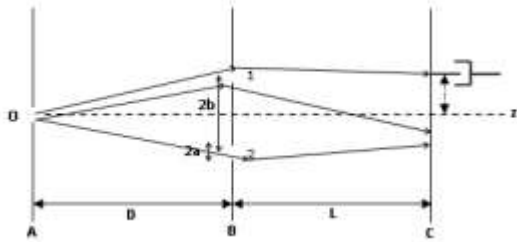
$$K[x_b, t_b; x_a, t_a] = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0, n \rightarrow \infty} \frac{1}{(2i\pi\hbar\varepsilon/m)^{1/2}} \int \frac{dx_1}{(2i\pi\hbar\varepsilon/m)^{1/2}} \int \frac{dx_2}{(2i\pi\hbar\varepsilon/m)^{1/2}} \exp\left(\frac{i}{\hbar} \frac{m(x_2 - x_1)^2}{2\varepsilon}\right)$$

DISTRIBUSI PROBABILITAS DALAM SUKU INTEGRAL FRESNEL

Dalam konsep mekanika kuantum, dikarenakan ukuran lintasan partikel tidak dapat diketahui secara pasti, dengan kata lain, tidak dapat diketahui ketika partikel bergerak melalui celah. Sangat mungkin partikel bergerak melalui celah dalam beberapa kali sebelum sampai di layar, dan probabilitasnya relatif kecil sehingga solusinya diberikan batasan jarak dari sumber ke celah dan dari celah ke layar pada set eksperimen (Gambar (5)) dengan jarak antar kedua celah $2b$ dan lebar kedua celah $2a$, partikel terhambur dari sumber ke celah selama waktu T dan dari celah ke layar selama waktu τ . Kemudian kita menghitung probabilitas amplitudo partikel dari sumber saat posisi awal $O = (x, y, z) = (0, 0, 0)$ dengan waktu $t = 0$ menuju ke layar dan saat di posisi akhir $(x, z = D+L)$ dengan waktu $T + \tau$, untuk posisi di titik pusat antar kedua celah ($w, z = D$), $-b < w < b$ dengan waktu $t = T$. Pernyataan ini hanya bisa diasumsikan sesuai pandangan klasik. Kemudian diasumsikan panjang gelombang λ , dimana besarnya mendekati atau sama dengan panjang gelombang arah z , $\lambda_z = 2\pi\hbar/(mv_z)$ namun lebih kecil dibanding jarak $\lambda \ll D, L$.

Selanjutnya menghitung amplitudo transisi partikel bergerak dari titik $O = (x, y, z) = (0, 0, 0)$ saat waktu $t = 0$, melalui 2 celah di posisi ($w, z = D$),

$-b < w < b$ saat waktu $t = T$ dan tiba (layar c) di posisi $(x, z = L + D)$ saat waktu $t = T + \tau$



Gambar 5. Lintasan partikel eksperimen 2 celah

Selanjutnya dihitung amplitudo $A_1(z)$, $A_2(z)$ yang keluar dari masing-masing celah 1 dan 2, kemudian 2 amplitudo tersebut ditambah untuk memperoleh amplitudo total $A(z)$ dan di modulus kuadratkan, didapatkan probabilitas

$$P(z) \equiv |A(z)|^2$$

Eksresi persamaan untuk $A_1(z)$ adalah

$$A_1(x; a, b) = \int_{-b}^b d\omega \frac{e^{i\frac{m(x-\omega)^2}{2\hbar\tau}}}{\sqrt{2i\pi\hbar\tau/m}} \frac{e^{i\frac{m\omega^2}{2\hbar T}}}{\sqrt{2i\pi\hbar T/m}}$$

Lebih lanjut disederhanakan,

$$A_1(x; a, b)$$

$$= \frac{e^{i\frac{mx^2}{2\hbar(T+\tau)}}}{\sqrt{(2i)^2\pi\hbar(T+\tau)/m}} \int_{\alpha_-^{(1)}}^{\alpha_+^{(1)}} d\omega' \exp\left(\frac{i\pi}{2}\omega'^2\right)$$

Kemudian didapatkan ekspresi analitik untuk amplitudo

$$A_1(x; a, -b) = \frac{e^{i\frac{mx^2}{2\hbar(T+\tau)}}}{\sqrt{(2i)^2\pi\hbar(T+\tau)/m}} \times [C(\alpha_+(x; a, b)) - C(\alpha_-(x; a, b)) + iS(\alpha_+(x; a, b)) - iS(\alpha_-(x; a, b))]$$

Sehingga didapatkan Distribusi probabilitas untuk 1 celah adalah

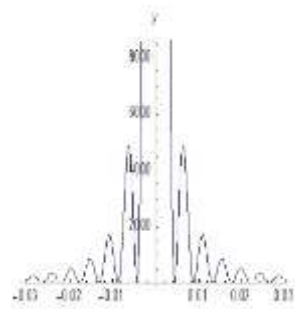
$$P(x; a) = \frac{1}{2\lambda(L+D)}$$

$$[C(\alpha_+(x; a, b)) + C(\alpha_-(x; a, b))]^2 + [S(\alpha_+(x; a, b)) + S(\alpha_-(x; a, b))]^2$$

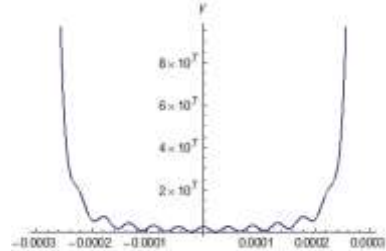
Kemudian menggunakan parameter $\eta = 1 + L/D$ dan $\gamma = \eta - 1$ maka diperoleh distribusi probabilitas untuk 1 celah dengan nilai N_F (medan jauh) = 0.01 (Gambar (6)), nilai N_F (medan dekat) = 10 (Gambar (7)).

$$P(x; a)$$

$$\approx \frac{2\gamma}{\pi^2\eta^2} \left(\frac{a^2}{\left(\frac{x^2}{\eta^2} - a^2\right)^2} + \frac{1}{\frac{x^2}{\eta^2} - a^2} \sin^2\left(\pi N_F(a) \frac{x}{a}\right) \right)$$



Gambar 6. Intensitas 1 Celah medan jauh



Gambar 7. Intensitas 1 Celah medan dekat

PERUMUSAN INTERFERENSI DAN DIFRAKSI

- Dua dan Tiga Celah

Untuk formula probabilitas 2 celah dapat ditentukan

$$P^{2\text{celah}}(x; a, b) = P_1(x; a, b) + P_2(x; a, b) + I_{12}(x; a, b)$$

Dengan suku difraksi

$$P_{1,2}(x; a, b)$$

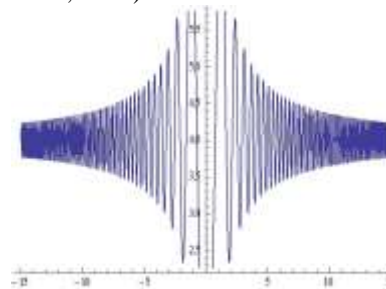
$$= \frac{\gamma}{2\lambda L \eta} [C(\alpha_+(x; a, b)) - C(\alpha_-(x; a, b))]^2 + [S(\alpha_+(x; a, b)) - S(\alpha_-(x; a, b))]^2$$

Dan suku interferensi

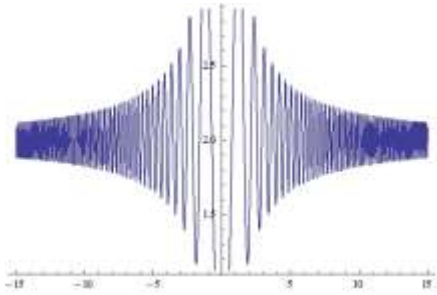
$$I_{1,2}(x; a, b)$$

$$= \frac{\gamma}{\lambda L \eta} [C(\alpha_+(x; a, b)) - C(\alpha_-(x; a, b))] [C(\alpha_+(x; a, b)) - C(\alpha_-(x; a, b))] + [S(\alpha_+(x; a, b)) - S(\alpha_-(x; a, b))] [S(\alpha_+(x; a, b)) - S(\alpha_-(x; a, b))]$$

Kemudian diberikan plot Intensitas 2 celah (Gambar (8)). Dengan konsep sama, maka hasil yang diperoleh juga sama hanya berbeda konstanta (M. Beau, 2011).



Gambar 8. Intensitas 2 Celah



Gambar 9. Intensitas 3 Celah

Dengan cara yang sama, diberikan Distribusi Probabilitas untuk $N = 3$ celah (Gambar (9))

$$P = \frac{\gamma}{2\lambda L \eta} \left(\left[(C(\alpha_+) - C(\alpha_-))^2 + (S(\alpha_+) - S(\alpha_-))^2 \right]_1 \right. \\ + \left[(C(\alpha_+) - C(\alpha_-))^2 + (S(\alpha_+) - S(\alpha_-))^2 \right]_2 \\ + \left[(C(\alpha_+) - C(\alpha_-))^2 + (S(\alpha_+) - S(\alpha_-))^2 \right]_3 \\ + 2 \left(\left[(C(\alpha_+) - C(\alpha_-))^2 + (S(\alpha_+) - S(\alpha_-))^2 \right]_{12} \right) \\ + 2 \left(\left[(C(\alpha_+) - C(\alpha_-))^2 + (S(\alpha_+) - S(\alpha_-))^2 \right]_{13} \right) \\ \left. + 2 \left[(C(\alpha_+) - C(\alpha_-))^2 + (S(\alpha_+) - S(\alpha_-))^2 \right]_{23} \right)$$

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Ali Yunus Rohedi, MT., Bapak Endarko, Ph.D., dan Bapak Dr.rer.nat, Bintoro Anang Subagyo atas pembimbingan selama ini serta terima kasih atas koreksinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Beau, M., Feynman Integral and one/two slits electrons diffraction : an analytic study, arXiv : 1110.2346v1, 2011
- Feynman, R.P., Hibbs, A.R., Quantum Mechanics and Path Integral, Addison-Wesley, Reading, MA, 1960
- Feynman, R.P., Leighton, R.B., Sands, M.L., The Feynman Lectures on Physics, Addison-Wesley, Reading, MA, 1963
- Rattazzi, R., The Path Integral approach to Quantum Mechanics, Lecture Notes IV, 2009
- Sawant, R., Samuel, J., Aninda Sinha., Supurna Sinha., Urbasi Sinha., Nonclassical Paths in Quantum Interference Experiments, Phys.Rev.Lett.113, 120406, 2014
- Yabuki, H., Feynman Path Integrals in the Young Double-Slit Experiment, Int. J. Theor. Phys 25:2, 159-174, 1986

SISTEM PENDETEKSI OBYEK MENGGUNAKAN *LOCAL BINARY PATTERN HISTOGRAM* PADA APLIKASI *SERVICE ROBOT*

Riza Agung Firmansyah¹, Djoko Purwanto², Ronny Mardiyanto³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Email: riza.agung12@mhs.ee.its.ac.id¹, djoko@ee.its.ac.id², ronny@elect-eng.its.ac.id³

Abstrak

Sistem pendeteksi obyek merupakan salah satu aplikasi pengolahan citra untuk mengetahui lokasi sebuah obyek yang berada dalam sebuah citra digital. Pendeteksi obyek yang baik harus mampu menemukan lokasi obyek dalam kondisi apapun. Namun, untuk menghasilkan pendeteksi obyek yang optimal terdapat kendala yaitu perbedaan orientasi, dan perubahan intensitas cahaya. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendeteksi obyek yang mampu mengatasi perbedaan orientasi dan perubahan intensitas cahaya dengan menggunakan Local Binary Pattern (LBP) histogram. LBP menghasilkan pola dari suatu citra digital yang akan diolah dengan cara membandingkan nilai intensitas sebuah piksel dengan beberapa piksel yang saling berdekatan. Pola yang diperoleh kemudian dicari nilai histogramnya. Histogram yang didapatkan digunakan untuk mendapatkan lokasi obyek dengan cara membandingkan nilai kesamaan histogram (histogram similarity) dengan histogram template obyek yang disiapkan sebelumnya. Dari penerapan pendeteksian obyek menggunakan LBP histogram, sistem pendeteksi obyek telah mampu menemukan lokasi obyek yang tahan terhadap perubahan perbedaan orientasi dan perubahan intensitas cahaya, sehingga dapat diaplikasikan pada service robot.

Kata kunci: Pendeteksi obyek, pengolahan citra, piksel, *local binary pattern*, *histogram similarity*

1. PENDAHULUAN

Service robot merupakan sebuah mobile robot yang menggunakan baterai sebagai sumber tenaga (Hendawan. Soebhakti, 2012), sehingga sumber energi robot akan habis sebelum selesai bekerja. Mengatasi masalah tersebut, maka robot harus memiliki sistem auto docking yang membuat robot melakukan pengisian ulang baterai secara otomatis. Service robot menggunakan kamera untuk sensor navigasinya sehingga sistem auto docking yang diterapkan juga menggunakan kamera. Sehingga untuk mempermudah proses auto docking, charger diletakkan pada sebuah docking station.

Dalam penelitian ini docking station merupakan obyek yang akan dideteksi. Sistem pendeteksi obyek pada umumnya menggunakan format warna rgb yang dikonversi menjadi grayscale. Namun, grayscale memiliki kelemahan tidak tahan terhadap perubahan intensitas cahaya (H.Rami et al, 2013). Kelemahan ini menyebabkan pendeteksi obyek yang diterapkan dengan grayscale mudah dipengaruhi perubahan cahaya lingkungan. Untuk hasil lebih baik maka citra grayscale yang diperoleh dikonversi menjadi pola warna local binary pattern (LBP).

Local binary pattern (LBP) merupakan pola warna yang didapatkan dari perbandingan intensitas sebuah piksel dengan piksel lain yang saling berdekatan. LBP mempunyai keluaran berupa pola seperti tepi obyek, sudut, garis, dan titik. Pola warna LBP lebih tahan terhadap perubahan intensitas cahaya karena saat intensitas berubah perbandingan nilai piksel tidak berubah.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibangun suatu sistem pendeteksi obyek yang mampu mendeteksi lokasi obyek yang dicari secara akurat. Sistem pendeteksi obyek ini diharapkan mampu bekerja pada kondisi intensitas cahaya yang berubah-ubah. Template/obyek yang akan dicari ditentukan oleh

pengguna, kemudian sistem secara otomatis akan mencari lokasi obyek tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan sistem pendeteksi obyek menggunakan LBP histogram sehingga mampu mengatasi masalah perubahan intensitas cahaya. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah merancang sistem pendeteksi obyek pada service robot sehingga mampu mengetahui lokasi docking station.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Deteksi obyek merupakan salah satu aplikasi pengolahan citra digital yang banyak digunakan. Ada beberapa cara melakukan pendeteksian obyek antara lain *template matching*, *speeded up robust feature* (SURF) (Hui.Dong, 2012), *color histogram matching* (Lee. Kwon, 2012), dan lain-lain. Pendeteksi obyek dengan *template matching* maupun SURF menggunakan format warna *grayscale* untuk mengetahui lokasi obyek sehingga kelemahan yang disebutkan (H.Rami et al, 2013) juga terjadi pada cara tersebut.

Pendeteksi obyek menggunakan *template matching* mencari lokasi obyek dengan cara mencari nilai kesamaan intensitas piksel pada citra *template* dengan citra yang diolah. Persamaan yang digunakan pada umumnya adalah *cross correlation* (D. Hanebeck et al, 2001), maupun *sum of absolute different* (D. Nadir Nourain et al, 2011) (J. Venne et al, 2016). Pencarian dilakukan pada setiap piksel hingga didapatkan lokasi piksel dengan nilai kesamaan terbesar. Proses *pixel to pixel* akan memakan waktu yang lebih lama jika resolusi citra yang digunakan semakin besar.

Menurut (D. Nadir Nourain et al, 2011), *template matching* menggunakan *cross correlation* memiliki kelemahan yaitu obyek harus dalam orientasi yang sama. Sehingga saat obyek yang dicari memiliki orientasi yang berbeda maka obyek tidak bisa

ditemukan. Sedangkan *sum of absolute different* memiliki kelemahan yaitu mudah terganggu dengan kondisi latar belakang yang berubah.

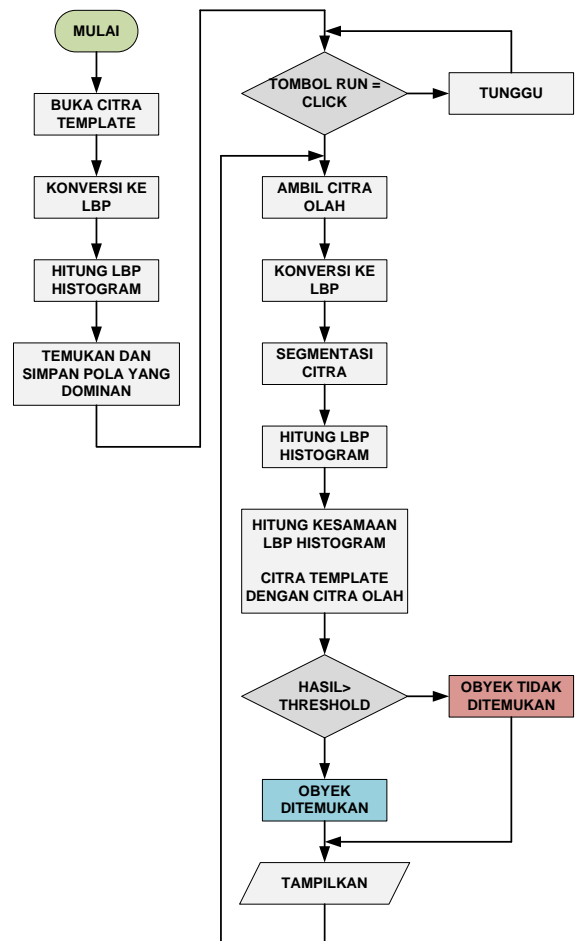
Deteksi obyek juga dapat dilakukan dengan *speeded up robust feature* (SURF). Pada SURF deteksi obyek diawali dengan mencari fitur dan interest point. Kemudian fitur dan *interest point* yang didapat dibandingkan dengan *feature matching KD-Tree*. Akurasi yang diperoleh SURF cukup tinggi dan tahan terhadap perbedaan orientasi maupun gangguan latar belakang. Menurut (Hui. Dong et al, 2012) kelemahan SURF adalah waktu eksekusi hingga 5 detik sehingga tidak dianjurkan untuk aplikasi *mobile robot*.

Selain warna, fitur, dan *interest point*, obyek juga memiliki pola-pola tertentu. Untuk mengetahui pola-pola yang muncul dalam sebuah citra dapat dihitung menggunakan histogram LBP dari citra yang akan diolah. Pola-pola dominan yang muncul akan terlihat dari histogram tersebut. Histogram yang diperoleh kemudian dicari nilai kemiripannya dengan histogram hasil pengolahan *template*. Nilai kemiripan terbesar menunjukkan lokasi obyek yang berada pada citra.

Dengan dasar ketahanan terhadap perubahan intensitas cahaya dan kemampuan menghasilkan pola-pola obyek, maka dalam penelitian ini digunakan pendeteksi obyek berbasis LBP histogram. Dalam penelitian ini deteksi obyek diterapkan pada service robot. Obyek yang dimaksudkan adalah *docking station* dari service robot. Dengan ditemukannya *docking station* maka robot mampu melakukan pengisian baterai secara otomatis.

3. METODA

Perancangan pendeteksi obyek menggunakan LBP histogram dilakukan dengan beberapa langkah antara lain konversi gray ke LBP, segmentasi citra, mencari pola dominan, mencari kesamaan histogram, dan pengambilan keputusan untuk menentukan area obyek.



Gambar. 1 Diagram alir sistem pendeteksi obyek menggunakan LBP histogram

3.1. Local binary pattern

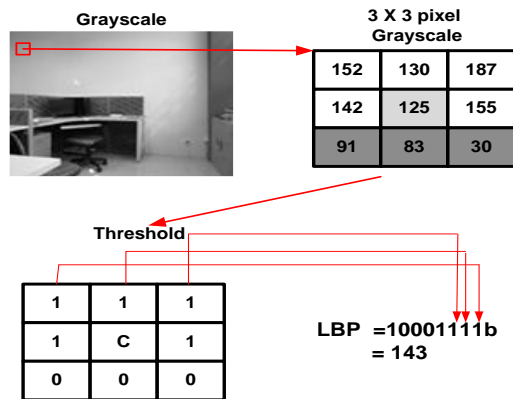
Local binary pattern (LBP) merupakan pola warna yang didapatkan dari perbandingan intensitas sebuah piksel dengan piksel lain yang saling berdekatan. Pola LBP didapatkan dari konversi citra *grayscale* dengan persamaan berikut:

$$s(g_0, g_i) = \begin{cases} 0, & g_i < g_0 \\ 1, & g_i \geq g_0 \end{cases} \quad 1 \leq i \leq 8 \quad (1)$$

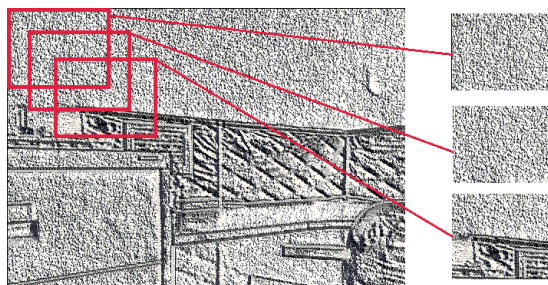
$$LBP(g_0) = s(g_0, g_i) \cdot 2^{i-1} \quad (2)$$

Dimana: g_0 = intensitas piksel yang diproses
 g_i = intensitas piksel yang berdekatan
 s = nilai LBP 8-bit (biner)
 LBP = nilai LBP (desimal)

Saat intensitas piksel g_0 lebih besar dari piksel g_i , maka nilai $s(g_0, g_i)$ bernilai 1. Jika intensitas g_0 lebih kecil dari piksel g_i , maka nilai $s(g_0, g_i)$ adalah 0. Untuk mempermudah konversi *grayscale* ke LBP dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Konversi grayscale menjadi LBP



Gambar 3. Citra LBP yang tersegmentasi

3.2. Segmentasi Citra

Untuk mencari lokasi obyek, citra yang diolah dibagi menjadi beberapa bagian dengan ukuran yang sama dengan citra *template*. Segmentasi citra menghasilkan beberapa area yang akan dicari kesamaan histogramnya dengan *template*. Segmentasi citra dilakukan dengan cara masing-masing bagian saling *overlapping*. Semakin rapat area yang terbentuk maka semakin presisi lokasi obyek yang bisa dicari tetapi menyebabkan proses pencarian semakin lama. Segmentasi dan area yang dihasilkan dari proses segmentasi dapat dilihat pada gambar 3.

3.3. Chi-Square Histogram Distance

Untuk mencari nilai kesamaan antara dua histogram dapat digunakan beberapa cara. *Sum of absolute different* sering digunakan untuk *template matching*, penjejak obyek dan beberapa permasalahan dalam mencari nilai kesamaan antara dua data (Vanne et al, 2006). Namun, *Sum of absolute different* memiliki kekurangan terhadap perubahan intensitas cahaya. *Histogram intersection* memiliki komputasi yang sederhana (Lee. Kwon, 2012) dan mampu membedakan histogram dalam jumlah yang banyak (66 Obyek) (M. J Swain, 1991). Kelemahan *histogram intersection* adalah kurang sensitif terhadap orientasi obyek yang berubah.

Chi-square *histogram distance* menurut (H.Rami et al, 2013) memiliki keunggulan dalam klasifikasi dan deteksi obyek. Sehingga pada penelitian ini digunakan persamaan chi-square *histogram distance*. Chi-Square memiliki persamaan sebagai berikut :

$$x2(H1, H2) = \frac{1}{2} \sum_i \frac{(H1_i - H2_i)^2}{(H1_i + H2_i)} \quad (3)$$

Dimana H1 merupakan LBP histogram dari *template*, H2 merupakan LBP histogram dari citra yang akan diolah, dan i adalah jumlah bins yang digunakan. Sehingga jika H1 dan H2 memiliki kesesuaian yang besar, maka x2 akan bernilai mendekati nol.

3.4. Perhitungan Histogram

Sebelum pendeteksian obyek dilakukan, citra *template* dipersiapkan lebih dahulu. Citra *template* diproses hingga didapatkan citra LBP yang kemudian dihitung histogramnya. Histogram LBP yang diperoleh memiliki jumlah bins sebanyak 256. Untuk mempercepat proses komputasi maka dicari 5 buah bins dengan nilai terbesar. Bins yang terpilih mewakili pola-pola dominan yang terdapat pada *template*.

Setelah didapatkan pola dominan, selanjutnya dilakukan proses perhitungan kesamaan histogram. Nilai kesamaan histogram dicari pada 5 bins dominan yang terdapat pada *template*. Histogram *template* dibandingkan dengan masing-masing area hasil segmentasi dengan persamaan (3). Untuk mempercepat proses pencarian, diberikan sebuah nilai batas atau *threshold*. Jika hasil perhitungan lebih kecil dari nilai *threshold* maka area tersebut ditandai sebagai kandidat lokasi obyek. Jika terdapat kandidat yang lokasinya saling berhimpit maka lokasi tersebut dianggap sebagai lokasi obyek.

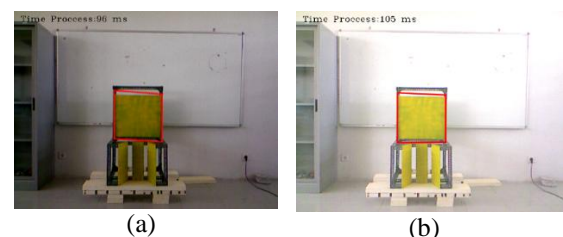
4. HASIL PENGUJIAN

Setelah merealisasikan sistem pendeteksi obyek menggunakan LBP histogram, maka dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan menggunakan beberapa citra dengan orientasi dan intensitas berbeda. Hasil pengujian menunjukkan lokasi obyek yang dicari yang ditandai dengan segiempat warna merah. Lama waktu eksekusi program juga dimunculkan pada citra keluaran.

Percobaan diawali dengan mempersiapkan citra *template*. Citra *template* merupakan obyek yang akan dicari. Dalam percobaan ini citra *template* ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Citra *template* yang digunakan pada pengujian



Gambar 5. Hasil pengujian dengan perbedaan intensitas (a) intensitas rendah, (b) intensitas tinggi



(a) orientasi kanan, (b) orientasi kiri

Gambar 6. Hasil pengujian dengan perbedaan orientasi,

Hasil sistem pendeteksi obyek yang diterapkan pada citra dengan intensitas rendah ditunjukkan pada gambar 5(a). Sistem pendeteksi obyek mampu menemukan lokasi obyek yang dicari dalam waktu 96 ms. Kemudian kita bandingkan dengan citra yang mempunyai orientasi yang sama tetapi intensitas yang berbeda. Gambar 5(b) menunjukkan hasil sistem pendeteksi obyek mampu menemukan lokasi obyek dalam waktu 105 ms. Dari percobaan ini sistem pendeteksi obyek mampu menemukan obyek pada seting intensitas cahaya yang berbeda.

Pengujian sistem pendeteksi obyek dilanjutkan dengan mengubah orientasi obyek. Obyek dihadapkan ke arah kiri, dan ke arah kanan. Gambar 6(a) merupakan hasil pengujian saat obyek menghadap sebelah kanan. Lama proses pencarian adalah 104 ms. Dari pengujian yang dilakukan, menunjukkan bahwa sistem pendeteksi obyek mampu bekerja pada perbedaan orientasi obyek dan perbedaan intensitas cahaya.

TABEL I. Hasil Pengujian dengan variasi orientasi dan intensitas obyek

Intensitas	Jumlah obyek	Jumlah obyek yang ditemukan	Prosentase keberhasilan (%)	Rata-rata waktu (ms)
Sangat rendah	30	24	80	108
Rendah	30	23	76.6	112
Normal	30	28	93.3	104
Tinggi	30	26	86.6	107
Sangat tinggi	30	21	70	115
Total	150	122	81.3	109

Sistem pendeteksi obyek selanjutnya diuji dengan beberapa data yang memiliki perbedaan orientasi dan intensitas cahaya. Seting percobaan dilakukan dengan jumlah obyek yang dideteksi memiliki 30 orientasi dengan 5 level intensitas cahaya sehingga menghasilkan 150 variasi. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada tabel 1.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem pendeteksi obyek mampu menemukan lokasi obyek pada beberapa variasi orientasi dan intensitas. Pada intensitas yang sangat tinggi atau sangat rendah muncul error yang lebih besar dari intensitas normal. Tingkat keberhasilan mencapai

81.3 % dengan rata-rata waktu pencarian 109 ms. Jika waktu pencarian sebesar 109 ms maka *frame rate* yang diperoleh adalah 9.17 fps. Dengan *frame rate* 9.17 fps maka sistem pendeteksi obyek telah bisa diaplikasikan pada service robot.

DAFTAR PUSTAKA

- D. Hanebeck, Kai. Briechle (2001), *Template matching using Fast Normalized Cross Correlation*, Proc. SPIE 4387, Optical Pattern Recognition XII, 95.
- D. Nadir Nourain, S. Brahim Belhaouari, J. Josefina (2011), *Fast Template matching Method Based Optimized Sum of Absolute Difference Algorithm for Face Localization*, International journal of computer application, vol. 18, 30-34.
- H. Rami, M. Hamri, Lh. Masmoudi (2013), *Object tracking in image sequence using local binary pattern (LBP)*, International journal of computer application, vol. 63, 20-23.
- Hendawan. Soebhakti, (2012). *Pengembangan Sistem Navigasi Mobile Robot Berdasarkan ekstraksi Ciri Lingkungan Koridor Gedung Menggunakan Sensor RGB-DEPTH*, Thesis program magister Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Hui. Dong, Yuan. Han Dian (2012), *Research of Image Matching Algorithm Based on SURF Features*, 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP), 1140-1143.
- Lee. Kwon, Lee. Chulhee, Seon. Ae Kim, Young, Hoon Kim (2012), *Fast object detection based on color histograms and local binary patterns*, TENCON 2012 - 2012 IEEE Region 10 Conference., 1-4.
- M. J. Swain, D. H. Ballard (1991), *Color indexing*, International Journal of Computer Vision, vol. 7, no. 1, pp. 11-32.
- J. Venne, E. Aho, TD. Hamalainen, K. Kuusilinn, (2006). *A High-Performance Sum of Absolute Difference Implementation for Motion Estimation*, Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, vol.16, no.7, pp.876-883.

SIMULASI PENENTUAN TAMPANG LINTANG REMOVAL MAKROSKOPIK NEUTRON CEPAT 14 MEV SEMEN LOKAL UNTUK BAHAN PERISAI RADIASI MENGGUNAKAN PROGRAM MCNP5

Sapiruddin

Program Studi Pendidikan Fisika, Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan (STKIP) Hamzanwadi Selong

Email: Zafir.Addin@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan simulasi penentuan tampang lintang removal makroskopik neutron cepat 14 MeV semen lokal untuk bahan perisai radiasi menggunakan program MCNP5. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar nilai tampang lintang removal makroskopik serta mengetahui pengaruh tebal perisai radiasi neutron terhadap nilai tampang lintang removal makroskopik pada semen produksi lokal dengan menggunakan program MCNP5. Simulasi menggunakan program MCNP5 ini membutuhkan informasi data dari beberapa faktor yang berpengaruh dalam proses, seperti bentuk geometri sistem, jenis bahan yang digunakan, dan sumber radiasi yang digunakan. Selanjutnya data masukan untuk MCNP5 dibuat dengan menggunakan program visual editor, data masukan atau input pada visual editor dieksekusi atau di running menggunakan total commander. Keluaran dari hasil eksekusi input program kemudian dianalisis menggunakan regresi, selanjutnya nilai tampang lintang removal dapat diketahui dari slope grafik hubungan antara data fluk neutron terhadap tebal lapisan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya nilai tampang lintang removal makroskopik dari berbagai cuplikan semen produksi lokal adalah $0,078\text{cm}^{-1}$ untuk semen Tiga roda, $0,062\text{cm}^{-1}$ untuk semen Nusantara, dan $0,077\text{cm}^{-1}$ untuk semen Gersik.

Kata kunci: Tampang lintang Makroskopik, Metode Monte Carlo, MCNP5.

PENDAHULUAN

Dalam mendesain perisai radiasi yang dalam hal ini adalah perisai radiasi neutron harus diperhitungkan beberapa hal, terutama segi keamanan dan biaya, baik buruknya suatu bahan perisai radiasi neutron ditentukan oleh besar fisis tampang lintang makroskopik neutron. Semakin tinggi nilai tampang lintang makroskopik atau attenuasi neutron suatu bahan semakin baik bahan tersebut untuk dijadikan perisai radiasi neutron. Tampang lintang makroskopik neutron untuk 15 unsur yang biasa digunakan sebagai struktur bahan perisai radiasi telah diukur oleh beberapa peneliti menggunakan metode aktivasi dan TOF (time of flight) (Darsono dkk, 1996). Adapun bahan yang umum dipakai sebagai bahan perisai radiasi adalah bahan padat yang memiliki densitas atau kerapatan yang tinggi seperti timbal, besi, beton dan lain-lain. Semen disamping sebagai bahan bangunan juga dipakai sebagai bahan perisai radiasi neutron karena disamping harganya murah dan kuat, semen juga mengandung beberapa unsur yang memiliki tampang lintang makroskopik atau atenuasi tinggi sehingga baik digunakan sebagai bahan perisai radiasi neutron. Dapat kita ketahui bahwa data tampang lintang mikroskopik neutron untuk semen produksi lokal pada dasarnya belum ada, namun data tampang lintang makroskopik neutron ini dapat diestimasi secara perhitungan dengan menggunakan data tampang lintang mikroskopik neutron dan densitas efektif dari masing-masing unsur pada bahan semen. Namun penentuan secara estimasi ini tidak mencerminkan data yang sesungguhnya sehingga diperlukan suatu cara atau teknik yang lain untuk menentukan nilai tampang lintang makroskopik neutron atau atenuasi yaitu simulasi dengan menggunakan program Monte Carlo N-Particle Version-5 (MCNP5). Program Komputer MCNP5 adalah alternative yang sangat baik untuk

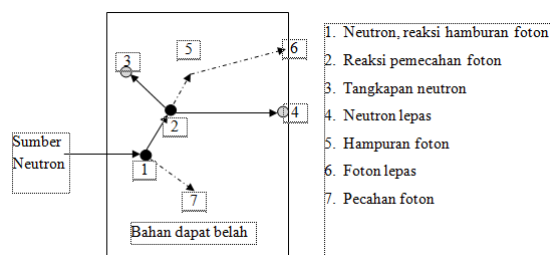
menyelesaikan masalah desain perisai radiasi (Harmon Charles, 1994). Darsono, dkk menggunakan MCNP5 untuk simulasi desain perisai radiasi MBE-LATEKS, Moulavi, menggunakan MCNP untuk menghitung spektrum sinar X untuk berbagai target. Monte Carlo *N-particle Version-5* merupakan perangkat lunak komputer menggunakan metode monte carlo yang diaplikasikan untuk menghitung perjalanan partikel yaitu neutron, foton, dan elektron. Perangkat lunak ini dikerjakan oleh tim Monte Carlo X-5 (2003) dari laboratorium National Los Alamos, USA. Metode Monte Carlo merupakan metode numerik statistik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah dengan mensimulasikan bilangan acak untuk masalah-masalah yang tidak mungkin diselesaikan secara analitik. Pada simulasi MCNP ini diperlukan masukan (*input*) geometri yang terdiri dari *cell card*, *surface card*, *material card*, dan *tally* yang akan menggambarkan masalah yang akan disimulasi. Ketepatan pembuatan masukan geometri dan data nuklir menentukan keberhasilan dari simulasi MCNP.

METODOLOGI

Metode MCNP sebagai sebuah teknik simulasi transport partikel yang termasuk dalam teknik eksperimentasi teoritis. Terlihat dari penelusuran jejak partikel (misal neutron) yang dilakukan MCNP dari sebuah sumber sampai neutron itu dianggap lenyap dari sistem. Secara acak akan ditentukan dengan inti apa neutron akan berinteraksi, jenis dan lokasi interaksi, arahnya, energy dan jenis artikel-partikel yang terbentuk setelah interaksi. Setelah partikel mulai bergerak keluar dari sumber lalu terbentuklah sebuah jalur dari hasil pergerakannya. Jika jalur itu terbelah menjadi 2 arah pada sebuah permukaan maka kedua jalur gerak partikel telah terbentuk sehingga sekarang sudah terdapat 2 (dua) jalur jejak partikel dari titik awal

(sumber). Gambar 1 memperlihatkan kebolehjadian sebuah neutron dari sebuah sumber acak didalam sebuah lempeng material yang mengalami reaksi pembelahan. Dari luar (sumber), neutron yang menembus materi sampai pada posisi (1), merupakan posisi acak yang dipilih sebagai tempat interaksi mula-mula antar neutron dengan materi. Interaksi yang terjadi adalah hamburan tak lenting ($n, 2n$). Foton yang terbentuk diabaikan terlebih dahulu untuk analisis lebih lanjut. Lalu neutron mengalami reaksi pembelahan (2), menghasilkan 2(dua) buah neutron baru dan sebuah foton. Salah satu neutron hasil pembelahan (3) ditangkap oleh material laluberhenti. Neutron yang lain (4) secara acak bergerak keluar materi. Foton hasil pembelahan (5) mengalami peristiwa tumbukan dengan materi lalu secara acak bergerak keluar lempeng materi (6). Oleh MCNP, partikel yang mengalami penundaan analisis (diabaikan) paling ahir akan dianalisis pertama kali sesudah penundaan.

Panjang jenjang tallies menggunakan anjang jejak dalam sebuah sel untuk menentukan perhitungan yang kita inginkan, misalnya fluks atau deposisi energy. Jejak yang melintas permukaan digunakan untuk menghitung fluks atau deposisi energy getaran tinggi (perkiraan permukaan). Sedangkan jejak yang mengalami tumbukan digunakan untuk menghitung perkalian dan kekristalan (perkiraan tumbukan) (Briesmeister, 1997).

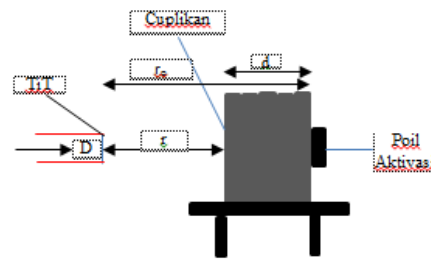


Gambar 1. Simulasi transport partikel (Briesmeister, 1997)

Untuk dapat melakukan simulasi penentuan tampang lintang removal makroskopik neutron cepat 14 MeV semen lokal untuk bahan perisai radiasi menggunakan program MCNP5 dibutuhkan beberapa masukan. Masukan yang diperlukan adalah geometri dari lapisan beton, jenis bahan penyusun lapisan beton yang digunakan dengan hasil keluaran berupa model koefisien atenuasi

Model perisai lapisan beton

Hal terpenting dalam pemodelan dengan MCNP5 adalah Geometri. Akurasi hasil pemodelan juga sangat ditentukan oleh kesesuaian dengan geometri obyek yang akan dimodelkan. Tahapan yang tersulit dalam pemodelan dengan MCNP5 adalah dalam pembuatan geometri obyek terutama objek-objek yang kompleks. Geometri yang dimodelkan adalah lapisan beton dari berbagai jenis merek semen berukuran $30 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$, seperti yang terlihat pada Gambar 2, energi yang digunakan 14 MeV, jarak lapisan beton dari sumber 30 cm (Darsono dkk, 1996)



Gambar 2. Geometri lapisan beton yang akan di simulasi

Untuk menghitung interaksi neutron dengan atom yang terkandung didalam lapisan beton atau cuplikan dari masing-masing merk semen maka MCNP5 membutuhkan jenis material sebagai masukan. Material yang dimodelkan adalah semen dan udara. Komposisi material cuplikan semen berdasarkan fraks berat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel I. Komposisi Material Berdasarkan Fraksi Berat

Bahan	Densitas	Unsur	Berat Atom	Fraksi Berat
Semen Tiga Roda	1,9581	O	16,00	0,37781523
		Si	28,06	0,14350646
		Al	26,97	0,04611613
		Si	32,00	0,00469843
		Ca	40,08	0,39349369
		Mg	24,32	0,00337061
		Na	23,00	0,00035749
		Fe	55,85	0,0293652
		K	39,10	0,00127675
Semen Nusantara	1,0945	O	16,00	0,3632709
		Si	28,06	0,09173138
		Al	26,97	0,06094107
		S	32,00	0,0080402
		Ca	40,08	0,44723618
		Mg	24,32	0,00712654
		Na	23,00	0,00182732
		Fe	55,85	0,0198264
Semen Gersik	1,9064	O	16,00	0,37531473
		Si	28,06	0,14293957
		Al	26,97	0,05056651
		S	32,00	0,00424885
		Ca	40,08	0,39451322
		Mg	24,32	0,00293747
		Fe	55,85	0,02947965
Udara	0,00124	N	7,00	0,68691
		O	8,00	0,30124
		C	6,00	0,000125
		Ar	18,00	0,011717

Model koefisien atenuasi

Pemodelan untuk memperoleh keluaran koefisien atenuasi linier digunakan detektor Tally F5. Dalam perhitungan koefisien atenuasi digunakan detector berbentuk titi dengan formula matematik yang

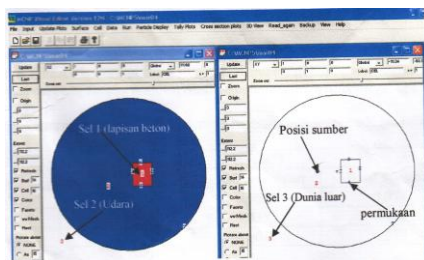
dilakukan MCNP5 adalah sebagai berikut (Rasito dkk, 2009)

$$F5 = \int_{E_f} dE \int_{t_f} dt \phi(\vec{r}p, E, T)$$

Detektor bentuk titik ditempatkan pada lapisan beton dengan variasi ketebalan 0,5 cm dengan diameter titik 0,005 cm, kemudian hasil *running* masukan MCNP5 dianalisis dan dibuat grafik hubungan antara fluks pada permukaan lapisan beton atau cuplikan semen terhadap ketebalan lapisan beton sehingga nilai koefisien atenuasi atau tampang lintang removal makroskopik dari berbagai cuplikan semen dapat diketahui

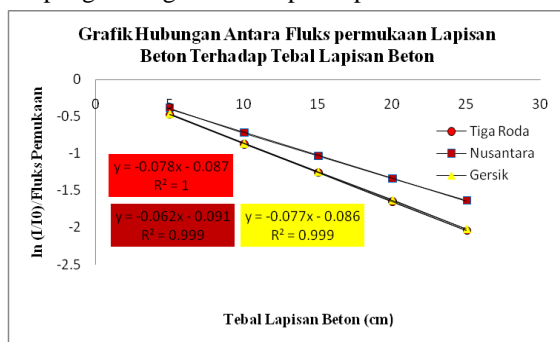
HASIL DAN PEMBAHASAN

Input program MCNP5 berupa cuplikan semen atau lapisan beton pada berbagai tipe semen, model koefisien atenuasi selanjutnya di-*running* menggunakan computer PC dengan CPU prosesor Intel Pentium IV 2 GHz dan ruang penyimpanan file hard disk 18 Gbytes. Simulasi untuk menentukan koefisien atenuasi dilakukan dengan menempatkan detektor titik (*tally F5*) dengan jari-jari 0,005 cm pada permukaan lapisan beton dengan variasi ketebalan 0,5 cm. Model penentuan tampang lintang makroskopik atau koefisien atenuasi pada berbagai cuplikan semen dengan MCNP5 diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model penentuan tampang lintang menggunakan MCNP5

Hasil *Running* input program berupa fluks neutron yang terdeteksi dipermukaan lapisan beton yang kemudian dianalisis menggunakan regresi linier, dengan memplot grafik hubungan antara data fluks neutron pada permukaan lapisan beton terhadap tebal lapisan beton seperti dilihat pada Gambar 4, nilai tampang lintang makroskopik dapat diketahui



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Fluks Permukaan Lapisan Beton Terhadap Tebal Lapisan Beton

Hasil pengukuran dan simulasi tampang lintang makroskopik neutron untuk berbagai tipe semen dapat dilihat pada table II berikut:

Tabel II. Tampang lintang reoval makroskopik neutron secara pengukuran dan simulasi

Cuplikan Semen	μ (cm ⁻¹)	
	Terukur	Simulasi
Tiga Roda	0,0627	0,078
Nusantara	0,0362	0,062
Gersik	0,0612	0,077

Dari hasil penelitian dapat dikemukakan beberapa hal sebagai berikut. Bahwa nilai tampang lintang removal makroskopik dari tiap-tiap cuplikan semen berbeda-beda, hal ini disebabkan perbedaan komposisi unsur serta kandungan dari berbagai cuplikan semen. Nampak pula bahwa data nilai tampang lintang removal makroskopik hasil pengukuran berbeda dengan hasil simulasi dengan perbedaan sekitar 25%. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh jumlah partikel yang disimulasikan dibawah 10⁸, penyediaan data masukan spesifikasi lapisan beton kurang teliti. Namun perbedaan 25% perlu dievaluasi kembali dengan memperhitungkan faktor yang belum ikut diperhitungkan dalam penentuan tampang lintang removal makroskopik dengan simulasi menggunakan MCNP5.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa di peroleh nilai tampang lintang removal makroskopik hasil simulasi dari berbagai tipe semen yaitu 0,078 cm⁻¹ untuk Tiga Roda, 0,062 cm⁻¹ untuk Nusantara, dan 0,077cm⁻¹ untuk Gersik dengan perbedaan terhadap hasil pengukuran sebesar 25%. Semakin tebal lapisan beton semakin besar pula nilai tampang lintang removal makroskopik dari lapisan beton tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Prof. Drs. Darsono, M.Sc atas semua bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Breismeister, Judith F., *Manual MCNP version 4B-A general Monte Carlo N-ParticleTransport Code*, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, (1997)
- Darsono, Djoko SP, B. Tohrul, Djasiman (1996), *Penentuan Tampang Lintang Removal Makroskopik Neuto Cepat 14 MeV Semen Produksi Lokal Untuk Bahan Perisai Radiasi*, Proceeding Seminar Sains Dan Teknologi Nuklir PPTN-BATAN, 77-78.
- Darsono, Safiruddin, M. Toifur (2013), *Simulasi Desain Perisai Radiasi MBE-Lateks Menggunakan MCNP5*, Ganendra Journal Nuclear Science and Technology., Vol. 16, 87-96
- Harmon Charle D., et.al, *“Criticality CalCulations With MCNPTM”, A Primer*, LA-12827-M, Los

- Alamos National Laboratory, Los Alamos,
New Mexico, (1994)
- Moulavi, A.A, Iran. J. Radit. Res, 3(3) (2005) 129-133
- Rasito. T, Ilham Y, Putu. S., 2009, "*Pemodelan Dosis
Neutron dan Gamma di Reaktor TRIGA
2000 dengan Metode Monte Carlo MCNP5*"
Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi
dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas
Nuklir. Surakarta

PENYELESAIAN PERSAMAAN DIRAC UNTUK POTENSIAL ECKART HIPERBOLIK DENGAN TENSOR PSEUDOSPIN SIMETRI MENGGUNAKAN METODE HIPERGEOMETRI

Tri Jayanti¹, Suparmi², Cari³

^{1,2,3} Program Studi Ilmu Fisika Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta

Email : trijayanti3@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai spektrum energi dan fungsi gelombang untuk potensial Eckart hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri. Perilaku partikel atomik dapat dipahami dengan jelas bila spektrum energi dan fungsi gelombang dari partikel tersebut diketahui. Spektrum energi dan fungsi gelombang untuk partikel yang dipengaruhi oleh potensial Eckart hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri diselesaikan menggunakan metode hipergeometri. Persamaan Dirac untuk potensial Eckart hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri diubah menjadi persamaan diferensial orde dua fungsi hipergeometri dengan substitusi variabel dan parameter secara tepat. Spektrum energi diperoleh secara eksak dan fungsi gelombang dinyatakan dalam bentuk polynomial hipergeometri.

Kata kunci : Hipergeometri, persamaan Dirac, potensial Eckart, spektrum energi, fungsi gelombang.

PENDAHULUAN

P.A.M Dirac mengajukan persamaan yang dikenal sebagai persamaan Dirac. Tidak seperti persamaan Klein-Gordon, persamaan Dirac memiliki rapat probabilitas yang selalu bernilai positif. Tetapi solusinya tetap memberikan informasi akan adanya partikel bebas berenergi negatif. Dirac percaya bahwa terdapat penjelasan fisis terhadap energi negatif ini, yang mengarahkannya pada Teori Lubang Dirac.

Penyelesaian persamaan Dirac secara langsung dari sistem partikel dengan menentukan energi dan fungsi gelombang suatu partikel dipengaruhi oleh potensial yang energi potensialnya merupakan fungsi posisi. Persamaan Dirac biasanya diselesaikan dengan cara mereduksi persamaan Dirac menjadi persamaan diferensial orde dua, fungsi Hermit, Laguerre, Hipergeometri. Di antara fungsi-fungsi tersebut, hanya persamaan fungsi Hipergeometri yang mempunyai bentuk penyelesaian paling umum. Persamaan tersebut dirasa umum karena persamaan – persamaan diferensialnya dapat direduksi menjadi persamaan Hipergeometri (Flugge, 1977).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang penyelesaian persamaan Dirac menjadi minat yang besar bagi para penulis. Pada penelitian sebelumnya, penyelesaian persamaan Dirac diselesaikan secara analitis untuk beberapa potensial seperti potensial Kratzer (Sadeghi et al., 2011), potensial Eckart (Goudarzi et al., 2011), potensial Poschl Teller (Flugge, 1977), dan sebagainya. Sedangkan beberapa metode juga telah digunakan dalam penyelesaian persamaan Dirac seperti metode Nikoforov Uvarov, Supersymetri dan Polynomial Romanovski (Ikot et al., 2010).

Dengan metode berbeda, paper ini menyajikan penyelesaian persamaan Dirac untuk sistem partikel yang dipengaruhi oleh potensial Rosen Morse Hiperbolik dengan Coulomb Like Tensor untuk spin simetri simetri. Energi dan fungsi gelombang dari

potensial Rosen Morse Hiperbolik dengan Coulomb Like Tensor untuk spin simetri diselesaikan menggunakan persamaan diferensial fungsi Hipergeometri. Potensial Eckart Hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri ini mempunyai peranan yang penting dalam pemodelan gaya – gaya antar atom atau molekul (Ikot et al., 2010).

BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laptop. Laptop yang digunakan adalah merk Lenovo G470 dan Program Matlab 2011.

Metode hipergeometri merupakan persamaan diferensial yang mempunyai bentuk penyelesaian paling umum yang diperoleh dari penguraian persamaan radial atom hidrogen yang mengacu pada persamaan diferensial Probenius mengenai titik angular singular. Persamaan diferensial orde dua fungsi Hipergeometri yang diusulkan oleh Gauß (Greiner, 1989) dinyatakan sebagai berikut :

$$z(1-z)\frac{d^2 G_{nk}}{dz^2} + (c - (a+b+1)z)\frac{dG_{nk}}{dz} - abG_{nk} = 0 \quad (1)$$

Persamaan dasar Dirac Spinor

$$\{\bar{\alpha} \cdot \vec{p} + \beta(M + S(\vec{r})) - i\beta\alpha \cdot \hat{r}U(r)\}\psi(\vec{r}) = \{E - V(\vec{r})\}\psi(\vec{r}) \quad (2)$$

dimana E adalah energi Relativistik dan \vec{p} adalah momentum operator tiga dimensi $-i\nabla$,

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0 & \sigma \\ \sigma & 0 \end{pmatrix}, \text{ dan } \beta = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{pmatrix} \quad (3)$$

Maka spinors dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\psi(\vec{r}) = \begin{pmatrix} \zeta(\vec{r}) \\ \phi(\vec{r}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{F_{nK}(r)}{r} Y_{jm}^l(\theta, \varphi) \\ i \frac{G_{nK}(r)}{r} Y_{jm}^{\bar{l}}(\theta, \varphi) \end{pmatrix} \quad (4)$$

Dari persamaan (4), diperoleh 2 spinor tensor yaitu :

1. Untuk tensor pseudospin simetri :

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa-1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) - U^2(r) + \frac{dU}{dr} \\ &+ \frac{\frac{d\Sigma}{dr} \left(\frac{d}{dr} - \frac{\kappa}{r} + U(r) \right)}{M - E_{nk} + \Sigma(r)} \end{aligned} \right\} G_{nk}(r) + (M + E_{nk} - \Delta(r))(E_{nk} - M - \Sigma(r))G_{nk}(r) = 0 \quad (5)$$

2. Untuk tensor spin simetri :

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa+1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) - U^2(r) - \frac{dU}{dr} \\ &+ \frac{\frac{d\Delta}{dr} \left(\frac{d}{dr} + \frac{\kappa}{r} - U(r) \right)}{M + E_{nk} - \Delta(r)} \end{aligned} \right\} F_{nk}(r) + (M + E_{nk} - \Delta(r))(E_{nk} - M - \Sigma(r))F_{nk}(r) = 0 \quad (6)$$

Karena dari persamaan (6) dapat diperoleh energi dan fungsi gelombang suatu sistem yang dipengaruhi oleh potensial tertentu, maka persamaan Dirac spinor tensor spin simetri untuk potensial tertentu harus diubah menjadi persamaan (1) dengan melalui substitusi variabel dan parameter.

Energi dan fungsi gelombang dari salah satu potensial yang akan diselesaikan dengan menggunakan metode hipergeometri adalah potensial Eckart Hiperbolik yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta(r) = -v \frac{e^{pr}}{r} \quad (7)$$

Persamaan Dirac spinor tensor spin simetri untuk potensial Eckart Hiperbolik dinyatakan sebagai berikut :

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa-1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) - U^2(r) + \frac{dU}{dr} \\ &+ \frac{\frac{d\Sigma}{dr} \left(\frac{d}{dr} - \frac{\kappa}{r} + U(r) \right)}{M - E_{nk} + \Sigma(r)} \end{aligned} \right\} G_{nk}(r) + (M + E_{nk} + v \frac{e^{pr}}{r})(E_{nk} - M - C_{ps})G_{nk}(r) = 0 \quad (8)$$

dengan tensor $U = -H \frac{e^{pr}}{r}$ dan pendekatan Aldrich - Greineer $\frac{1}{r^2} = \frac{4p^2 e^{-2pr}}{(1-e^{-2pr})^2}$. Persamaan (8) menjadi:

$$\frac{d^2 G_{nk}(r)}{dr^2} - \frac{p^2((k+H-1)(k+H))}{\sinh^2 pr} G_{nk}(r) + p^2 \left(\left(H + 2H^2 + \frac{v}{p}(M - E_{nk} - C_{ps}) \right) (coth pr) G_{nk}(r) = \frac{v}{p}(M - E_{nk} - C_{ps}) \right) + \frac{C_{ps}}{p^2} (M + E_{nk}) - \left(\frac{E_{nk}^2 - M^2}{p^2} \right) G_{nk}(r) \quad (9)$$

Misalkan :

$$A_{ps} = (k + H - 1)(k + H) \quad (10)$$

$$B_{ps} = \left(H + 2H^2 + \frac{v}{p}(M - E_{nk} - C_{ps}) \right) \quad (11)$$

$$E' = \left(H + 2H^2 + \frac{v}{p}(M - E_{nk} - C_{ps}) \right) + \frac{C_{ps}}{p^2} (M + E_{nk}) - \left(\frac{E_{nk}^2 - M^2}{p^2} \right) \quad (12)$$

sehingga menjadi :

$$\frac{d^2 G_{nk}(r)}{dr^2} - \frac{p^2 A_{ps}}{\sinh^2 pr} G_{nk}(r) + p^2 B_{ps} (coth pr) G_{nk}(r) = p^2 E' G_{nk}(r) \quad (13)$$

Persamaan (13) dapat diubah menjadi persamaan diferensial orde dua fungsi hipergeometri dengan cara mensubstitusikan variabel yang sesuai. Pemisalan variabel yaitu $coth pr = (1 - 2z)$. Substitusi variabel ini terinspirasi dari pengubah variabel pada formula SUSY WKB (A. Inomata, 1991) dan pengubahan persamaan Schrödinger untuk potensial Poschl Teller I (Flugge, 1977). Dengan mensubstitusikan variabel ke dalam persamaan (13) maka diperoleh bentuk umum sebagai berikut :

$$\left\{ \begin{aligned} &z(1-z) \frac{\partial^2}{\partial z^2} + (1-2z) \frac{\partial}{\partial z} + \\ &A_{ps} - \frac{-B_{ps} + E'}{4z} - \frac{B_{ps} + E'}{4(1-z)} \end{aligned} \right\} G_{nk}(r) = 0 \quad (14)$$

Persamaan (14) merupakan persamaan diferensial orde dua yang mempunyai dua buah titik regular singular di titik $z = 0$ atau $z = 1$. Penyelesaian umum untuk potensial Eckart Hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$G_{nk}(z) = z^a (1-z)^b f(z) \quad (15)$$

Untuk $z = 0$ maka $G_{nk}(z) \sim z^a$ dan untuk $z = 1$ adalah $G_{nk}(z) \sim (1-z)^b$. Dimana dilakukan substitusi parameter yang diperoleh dari *index equation* sebagai berikut :

$$-B_{ps} + E' = 4a^2 \quad (16a)$$

$$B_{ps} + E' = 4b^2 \quad (16b)$$

maka persamaan (14) berubah menjadi :

$$z(1-z)f''(z) + \{(2\alpha+1) - (2\alpha-2\beta+2)z\}f'(z) + \{A_{ps} - (\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)\}f(z) - \frac{4\alpha^2}{4z}f(z) - \frac{-B_{ps}+E'}{4z}f(z) - \frac{4\beta^2}{4(1-z)}f(z) - \frac{B_{ps}+E'}{4(1-z)}f(z) = 0 \quad (17)$$

Bentuk persamaan (17) merupakan persamaan diferensial orde dua fungsi hipergeometri, maka diperoleh :

$$\left(\sqrt{A_{ps} + \frac{1}{4}} \right) + \left(\alpha + \beta + \frac{1}{2} \right) = a' = -n \quad (18a)$$

$$-\left(\sqrt{A_{ps} + \frac{1}{4}} \right) + \left(\alpha + \beta + \frac{1}{2} \right) = b' \quad (18b)$$

$$c' = 2\alpha + 1 \quad (18c)$$

Dari persamaan (18a, 18b, 18c) diperoleh energi potensial Eckart Hiperbolik dengan tensor spin simetri sebagai berikut :

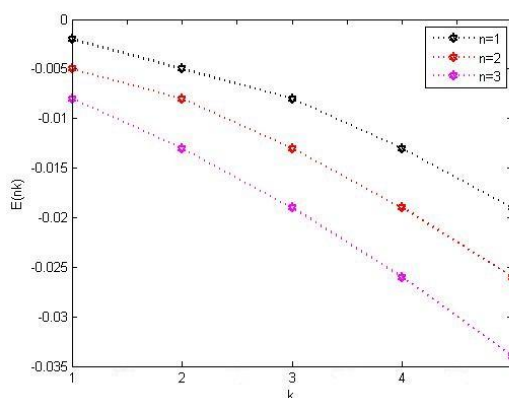
$$\frac{\left(\left(H+2H^2\frac{v}{p}+(M-E_{nk}-C_{ps})\right)\right)^2}{4\left\{\left(\sqrt{(k+H-1)(k+H)+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\}^2} + \left\{\left(\sqrt{(k+H-1)(k+H)+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\}^2 = E' \quad (19)$$

Dari persamaan (19) tidak dapat diperoleh nilai energi secara numerik sehingga nilai energi dicari dengan menggunakan program Matlab 2011. Maka nilai energinya sebagai berikut:

TABEL I. Energi potensial eckart hiperbolik untuk kasus pseudospin simetri dengan variasi n

Cps	M	p	k	H	v	n	Enk
-5	5	0,05	1	0	4	1	-0,002
-5	5	0,05	2	0	4	1	-0,005
-5	5	0,05	3	0	4	1	-0,008
-5	5	0,05	4	0	4	1	-0,013
-5	5	0,05	5	0	4	1	-0,019
-5	5	0,05	1	0	4	2	-0,005
-5	5	0,05	2	0	4	2	-0,008
-5	5	0,05	3	0	4	2	-0,013
-5	5	0,05	4	0	4	2	-0,019
-5	5	0,05	5	0	4	2	-0,026
-5	5	0,05	1	0	4	3	-0,008
-5	5	0,05	2	0	4	3	-0,013
-5	5	0,05	3	0	4	3	-0,019
-5	5	0,05	4	0	4	3	-0,026
-5	5	0,05	5	0	4	3	-0,034

Dari Tabel I diatas dapat digambarkan grafik nilai energinya yaitu:



Gambar 1. Grafik energi potensial eckart hiperbolik untuk kasus pseudospin simetri dengan variasi n

Berdasarkan uraian di atas diperoleh fungsi gelombang untuk potensial Eckart Hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri yang dituliskan sebagai berikut :

$$G_{nk}(r) = \left(\frac{(1-\coth pr)}{2}\right)^\alpha \left(\frac{(1+\coth pr)}{2}\right)^\beta f_{nk}(a', b', c', z) \quad (20)$$

Dimana :

$$\frac{-B_{ps}}{4\left\{\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\}} + \frac{1}{2}\left\{\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\} = \alpha \quad (21)$$

$$\frac{B_{ps}}{4\left\{\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\}} + \frac{1}{2}\left\{\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\} = \beta \quad (22)$$

$$f_{nk}(a', b', c', z) = f_{nk}\left\{-n, \left(-n - 2\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)\right), (2\alpha+1), \right\} \quad (23)$$

HASIL DAN DISKUSI

Penjabaran fungsi gelombang dan energi untuk potensial Eckart Hiperbolik menggunakan metode Hipergeometri. Penjabaran dengan metode ini terdiri dari beberapa langkah. Langkah pertama yaitu menentukan persamaan Dirac untuk potensial Eckart Hiperbolik. Selanjutnya mencari substitusi variabel yang sesuai agar persamaan Dirac berubah menjadi persamaan diferensial orde dua fungsi hipergeometri. Langkah ketiga melakukan substitusi parameter yang diperoleh dari *index equation* sehingga diperoleh persamaan umum fungsi gelombang potensial Eckart Hiperbolik dengan tensor spin simetri sebagai berikut :

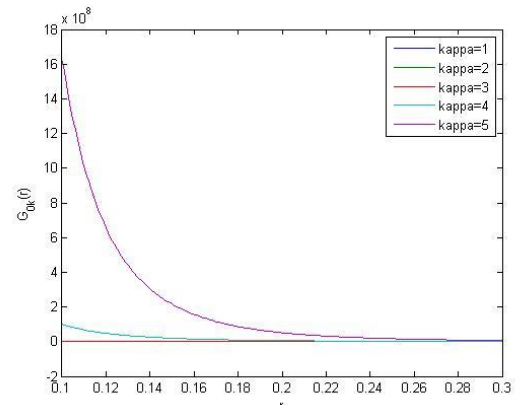
$$G_{nk}(r) = \left(\frac{(1-\coth pr)}{2}\right)^\alpha \left(\frac{(1+\coth pr)}{2}\right)^\beta f_{nk}(a', b', c', z) \quad (24)$$

$$f_{nk}(a', b', c', z) = f_{nk}\left\{-n, \left(-n - 2\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)\right), (2\alpha+1), \right\} \quad (25)$$

Fungsi gelombang dasar diperoleh dengan mengalikan $\frac{(1-\coth ar)^{\alpha psn}}{2} \frac{(1+\coth ar)^{\beta psn}}{2}$ dengan suku pertama deret hipergeometri. Fungsi gelombang dasar n = 0 yang diperoleh adalah:

$$G_{0k}(r) = \left(\frac{(1-\coth pr)}{2}\right)^{\frac{-B_{ps}}{4\left\{\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}\right\}}+\frac{1}{2}} \left(\frac{(1+\coth pr)}{2}\right)^{\frac{B_{ps}}{4\left\{\left(\sqrt{A_{ps}+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}\right\}}+\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Dari persamaan (26) dengan menggunakan program matlab 2011 dapat diperoleh grafik seperti pada Gambar II sebagai berikut:



Energi potensial Eckart hiperbolik dengan tensor pseudospin simetri yang diselesaikan menggunakan metode hipergeometri diperoleh sebagai berikut :

$$\frac{\left(\left(H+2H^2\frac{v}{p}+(M-E_{nk}-C_{ps})\right)\right)^2}{4\left(\left(\sqrt{(k+H-1)(k+H)+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right)^2} + \left\{\left(\sqrt{(k+H-1)(k+H)+\frac{1}{4}}\right)+\frac{1}{2}+n\right\}^2 = E' \quad (27)$$

KESIMPULAN

Fungsi gelombang dan energi potensial Eckart hiperbolik dengan Coulomb Like Tensor untuk pseudospin simetri dapat diselesaikan menggunakan metode Hipergeometri. Metode hipergeometri dapat diterapkan untuk menyelesaikan jenis potensial lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh hibah peneliti utama (TUT UNS).

DAFTAR PUSTAKA

- A. Inomata, A. Suparmi dan S. Kurth, *Proceeding of 18th International Colloquium on Group Theoretical Methods in Physics*, eds. V. V. Dodonov and V. I. Man'ko, (Springer, Berlin, 1991), pp399.
- Flugge, S., *Practical Quantum Mechanics*, Springer, New York, 1977.
- Goudarzi, H. And Vahidi, V., "Supersymmetric Approach for Eckart Potential Using the NU Method", *Adv. Studies Theor. Phys.*, vol. 5 no 10 (2011) pp 469- 476..
- Greiner, *Quantum Mechanics An Introduction*, Springer- Verlag, Berlin Heidilberg, 1989.
- Ikot, A. N. and Akpabio, L.E., "Approximate Solution of the Schrodinger Equation with Rosen Morse Potential Including the Centrifugal Term," *Applied Physics Reseach*, 2010, ISSN 1916-9639.
- Sadeghi, J and Pourhassan, B., "Exact Solution of The Non-Central Potential Modified Kratzer Potential," *Adv. Studies Theor. Phys.*, Vol 5 no 11 (2011) pp 477-484.

SOLUSI PERSAMAAN SCHRÖDINGER BERGANTUNG WAKTU MENGGUNAKAN METODE FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN QUANTUM (FDTD-Q)

Williana¹, Bansawang BJ², Eko Juarlin³

^{1,2,3} Program Studi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Email : williana1412@gmail.com

Abstrak

Perluasan teknik Finite Difference Time Domain (FDTD) diterapkan untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi, 2 dimensi untuk partikel bebas dan persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi untuk potensial Coulomb. Teknik FDTD numerik yang menyelesaikan persamaan Schrödinger disebut FDTD-Q. Analisis sistematis dari stabilitas dari teknik ini untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu untuk partikel bebas dilakukan dalam penelitian ini. Program numerik stabil selama $\Delta t \leq \Delta t_{max}$, program tidak stabil ketika $\Delta t > \Delta t_{max}$.

Kata kunci : Persamaan Schrödinger Bergantung Waktu, FDTD-Q, Stabilitas.

PENDAHULUAN

Persamaan Schrödinger dalam keadaan tertentu sangat sulit diselesaikan secara analitik, sehingga dalam beberapa keadaan solusi diperoleh dengan melakukan menggunakan metode WKB atau teori perturbasi. Oleh karena kebanyakan keadaan sistem fisik di alam terlalu rumit untuk diselesaikan secara analitik sehingga diharapkan bantuan komputer untuk mencari solusi beberapa sistem fisis dalam kuantum (J. R. Nagel, 2007).

Salah satu metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial parsial (PDP) bergantung waktu secara numerik adalah Finite difference time domain (FDTD). Ide dasar dari FDTD adalah mendiskritisasi persamaan differensial parsial dalam ruang dan waktu kemudian dilakukan pendekatan derivatif dengan menggunakan beda hingga. Kelebihan FDTD adalah kesederhanaan pengerjaan dan secara bertahap variabel waktu meningkat dalam langkah-langkah diskrit (J. R. Nagel, 2007).

Metode FDTD yang digunakan dalam elektromagnetik diperluas kegunaannya dalam kuantum. Aplikasi teknik FDTD untuk menganalisis piranti kuantum (FDTD-Q) didasarkan pada FDTD untuk elektromagnetik, dan perluasan metode ini digunakan untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger (J. Noguier, 1983). Dengan cara yang sama, FDTD-Q menyelesaikan persamaan Schrödinger yang terdiskritisasi dalam proses yang berulang.

Teknik FDTD-Q telah digunakan untuk menyelesaikan masalah titik kuantum (QD) (Sullivan, D.M. and D. S. Citrin, 2002) dan (Sullivan, D.M. and D. S. Citrin, 2001). Namun beberapa aspek dari FDTD-Q, konvergensi dan stabilitas skema numerik belum dieksplorasi sampai sekarang. Dengan demikian dalam penelitian ini akan dilakukan pengkajian terhadap penyelesaian persamaan Schrödinger dalam 1 dan 2 dimensi dengan metode FDTD dan pengujian kestabilan program.

PERSAMAAN SCHRÖDINGER

Ungkapan persamaan Schrodinger dalam operator adalah:

$$\hat{A}\Psi = a\Psi \quad (1)$$

Operator untuk momentum linear pada partikel yang bergerak sepanjang sumbu x adalah:

$$\hat{p}_x = -j\hbar \frac{\partial}{\partial x} \quad (2.a)$$

Persamaan nilai eigen dari operator ini adalah:

$$-j\hbar \frac{\partial}{\partial x} \Psi = \hat{p}_x \Psi \quad (2.b)$$

Suatu partikel memiliki energi total yang terdiri dari energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial merupakan fungsi x yang biasa ditulis $V(x)$, sedangkan energi kinetik dinyatakan dalam momentum adalah $E_k = \frac{p^2}{2m}$ dengan m adalah massa elektron dan p adalah momentumnya, dengan menggunakan operator momentum pada persamaan (2.a), maka Hamiltonian sistem yang merupakan operator energi dapat dituliskan:

$$\hat{H}(p, x) = \frac{p^2}{2m} + V(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \quad (3)$$

Persamaan nilai eigen untuk operator \hat{H} adalah:

$$\hat{H}\Psi = E\Psi \quad (4)$$

Dengan operator energi yang bersesuaian:

$$\hat{E} = j\hbar \frac{\partial}{\partial t} \quad (5)$$

Sehingga untuk persamaan (4) dengan mensubstitusi operator \hat{E} dan nilai eigen untuk \hat{H} diperoleh persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi:

$$j\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + V(x) \right] \Psi(x,t) \quad (6)$$

TEKNIK FDTD-Q

Langkah awal dari teknik FDTD-Q untuk mendapatkan solusi numerik dari persamaan Schrödinger bergantung waktu adalah memisahkan fungsi gelombang kompleks menjadi dua fungsi yaitu bagian real dan bagian imajiner seperti berikut:

$$\Psi(x, y, t) = \Psi_R(x, y, t) + j\Psi_I(x, y, t) \quad (7)$$

dan persamaan Schrödinger bergantung waktu dimensi dua:

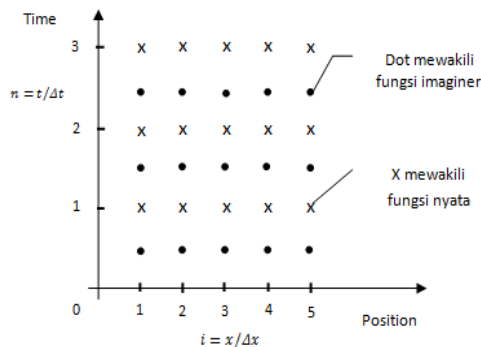
$$\hbar \frac{\partial \Psi_R(x,y,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \left[\frac{\partial^2 \Psi(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi(x,y,t)}{\partial y^2} \right] + V(x,y) \Psi_I(x,y,t) \quad (8)$$

Dengan memasukkan persamaan (7) ke dalam persamaan (8) dan memisahkan bagian real untuk Ψ_R dan bagian imajiner untuk Ψ_I , maka diperoleh:

$$\hbar \frac{\partial \Psi_R(x,y,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \left[\frac{\partial^2 \Psi(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi(x,y,t)}{\partial y^2} \right] + V(x,y) \Psi_I(x,y,t) \quad (9.a)$$

$$\hbar \frac{\partial \Psi_I(x,y,t)}{\partial t} = \frac{\hbar^2}{2m_e} \left[\frac{\partial^2 \Psi(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi(x,y,t)}{\partial y^2} \right] - V(x,y) \Psi_R(x,y,t) \quad (9.b)$$

Karena komputer memiliki kapasitas penyimpanan yang terbatas, langkah selanjutnya untuk menerapkan FDTD-Q adalah melakukan diskritisasi yang mana merupakan satu set titik-titik diskritisasi dalam ruang dan waktu yang akan menyederhanakan fungsi (Nagel, J. R., 2010).



Gambar. 1 Titik diskritisasi FDTD dengan penempatan berselang

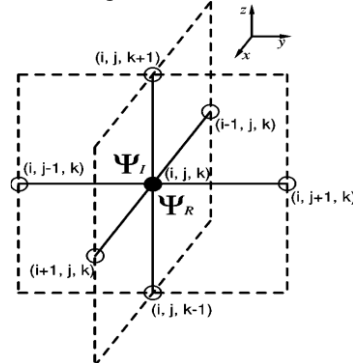
Gambar. 1 menunjukkan diskritisasi Δx dalam ruang dan Δt dalam waktu dengan menempatkan bagian real Ψ_R berselang dengan bagian imajiner Ψ_I . Tanda titik hitam mewakili bagian real Ψ_R sedangkan tanda silang X mewakili bagian imajiner Ψ_I . Titik-titik diskritisasi tersebut kemudian didefinisikan sebagai $x_i = i\Delta x$ dan $t_n = n\Delta t$ dimana i dan n adalah bilangan bulat yang dibatasi oleh $1 \leq i \leq I$, dan $1 \leq n \leq N$.

$$\begin{aligned} \Psi_R(x,y,t) &\cong \Psi_R^n(i,j) = \Psi_R(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t) \\ \Psi_I(x,y,t) &\cong \Psi_I^n(i,j) = \Psi_I(i\Delta x, j\Delta y, n\Delta t) \end{aligned} \quad (10)$$

Orde kedua dalam persamaan (9.a) dan (9.b), didiskritisasi menggunakan diferensial berpusat. Karena itu perhitungan dari persamaan (9.a) dan persamaan (9.b) pada posisi (i,j) melibatkan poin $(i+1,j)$, $(i-1,j)$, $(i,j+1)$, dan $(i,j-1)$. Sebagai contoh, untuk memperbaharui bagian real

dari fungsi gelombang pada titik diskrit (i,j) ; pada saat $(n+1)\Delta t$, diperlukan bagian imajiner dari fungsi gelombang pada titik-titik (i,j) , $(i+1,j)$, $(i-1,j)$, $(i,j+1)$, dan $(i,j-1)$ pada saat $(n+1/2)\Delta t$.

Evaluasi melibatkan bagian real dan imajiner dari fungsi gelombang pada setiap titik. Orde kedua dihitung pada setiap titik ruang diskrit, kemudian pada skema numerik bagian real dan bagian imajiner dari fungsi gelombang berada pada titik diskritisasi yang sama. Sel unit dalam FDTD-Q ditunjukkan dalam gambar. 2 (Soriano et al., 2004).



Gambar. 2 Sel FDTD-Q

Setelah operator differensial diganti dengan operator diskrit menggunakan diferensial berpusat, diperoleh Ψ_R^{n+1} sebagai fungsi dari Ψ_R^n dan $\Psi_I^{n+1/2}$.

$$\begin{aligned} \Psi_R^{n+1}(i,j) &= \Psi_R^n(i,j) + \left[\frac{\hbar \Delta t}{m_e} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) + \frac{V(i,j) \Delta t}{\hbar} \right] \Psi_I^{n+\frac{1}{2}}(i,j) - \frac{\hbar \Delta t}{2m_e \Delta x^2} \times \\ &\quad \left(\Psi_I^{n+\frac{1}{2}}(i+1,j) + \Psi_I^{n+\frac{1}{2}}(i-1,j) \right) - \frac{\hbar \Delta t}{2m_e \Delta y^2} \times \left(\Psi_I^{n+\frac{1}{2}}(i,j+1) + \Psi_I^{n+\frac{1}{2}}(i,j-1) \right) \end{aligned} \quad (11.a)$$

dan untuk bagian imajiner:

$$\begin{aligned} \Psi_I^{n+1}(i,j) &= \Psi_I^n(i,j) - \left[\frac{\hbar \Delta t}{m_e} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) + \frac{V(i,j) \Delta t}{\hbar} \right] \Psi_R^{n+\frac{1}{2}}(i,j) - \frac{\hbar \Delta t}{2m_e \Delta x^2} \times \\ &\quad \left(\Psi_R^{n+\frac{1}{2}}(i+1,j) + \Psi_R^{n+\frac{1}{2}}(i-1,j) \right) - \frac{\hbar \Delta t}{2m_e \Delta y^2} \times \left(\Psi_R^{n+\frac{1}{2}}(i,j+1) + \Psi_R^{n+\frac{1}{2}}(i,j-1) \right) \end{aligned} \quad (11.b)$$

Persamaan (11.a) dan (11.b) diselesaikan melalui proses berulang, dengan memerlukan kondisi batas, dimana waktu meningkat sebesar Δt dalam iterasi numerik.

STABILITAS

Diskritisasi waktu Δt adalah interval waktu antara daerah perhitungan yang berurutan dalam pendekatan numerik yang dijelaskan dalam persamaan (11.a). Pemilihan Δt sangat penting dalam simulasi FDTD-Q. Kerumitan program berkurang seiring dengan meningkatnya Δt , di sisi lain pertambahan waktu yang lebih panjang akan menyebabkan simulasi kurang stabil.

Pertambahan waktu harus dipilih sebagai keseimbangan antara kerumitan komputasi dan kestabilan. Menetapkan pertambahan waktu maksimum diperlukan untuk menjaga kestabilan simulasi.

Untuk mengujian kelayakan stabilitas analitik numerik, beda hingga dipisahkan menjadi dua nilai eigen, nilai eigen spasial dan nilai eigen temporal. Nilai-nilai eigen yang berhubungan dengan diferensial spasial dan nilai-nilai eigen yang berhubungan dengan operator waktu akan dihitung. Jika nilai eigen spasial menyertakan nilai eigen temporal, maka algoritma numerik dikatakan stabil (E. A. Navarro, 1992). Dengan cara ini, stabilitas numerik dijamin dengan menghindari perubahan tak terkendali dari kesalahan numerik pada setiap iterasi.

Nilai Eigen Temporal

Nilai eigen temporal λ pada persamaan Schrödinger dianalisis dari sisi kiri persamaan (8)

$$j\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \lambda \Psi \quad (12)$$

Dimana kedua bagian real dan imajiner dari fungsi Ψ dianggap. Melalui operator diskrit yang setara, diferensiasi numerik didapatkan:

$$j\hbar \frac{\Psi^{n+\frac{1}{2}}(i,j,k) - \Psi^{n-\frac{1}{2}}(i,j,k)}{\Delta t} = \lambda \Psi^n(i,j,k) \quad (13)$$

Faktor penambahan q menentukan perubahan fungsi gelombang pada setiap iterasi

$$q = \frac{\Psi^{n+\frac{1}{2}}}{\Psi^n} \quad (14)$$

Akan diperoleh persamaan untuk faktor penambahan

$$q^2 + j \frac{\lambda \Delta t}{\hbar} q - 1 = 0$$

$$q = -j \frac{\lambda \Delta t}{2\hbar} \pm \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda \Delta t}{2\hbar}\right)^2} \quad (15)$$

Ketidakstabilan muncul ketika fungsi eigen terkait dengan λ nilai eigen bertambah pada setiap iterasi. Stabilitas temporal bergantung pada setiap mode spasial yang diasumsikan dengan kondisi $|q| \leq 1$. Hal ini diverifikasi jika:

- $\text{Im}(\lambda)=0$ kondisi ini menetapkan bahwa semua nilai eigen harus nyata. Jika diasumsikan bahwa Hamiltonian adalah operator hermitian, itu akan selalu benar karena semua nilai eigen yang berhubungan dengan operator hermitian adalah nyata.

- $\text{Re}(\lambda) \Delta t \leq 2\hbar$. Kondisi stabil berasal dari hubungan ini, melibatkan diskritisasi spasial dan temporal.

Nilai Eigen Spasial

Proses untuk nilai eigen temporal, diulang lagi untuk nilai eigen spasial. Sisi kanan persamaan (8) dianalisis sebagai nilai eigen spasial

$$\lambda_s \Psi(\vec{r}, t) = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) + V(\vec{r}) \Psi(\vec{r}, t) \quad (16)$$

Dengan solusi umum:

$$\Psi(x, y, t) \propto e^{j(k_x x + k_y y - \omega t)}$$

$$\Psi(x, y, t) \approx e^{j(k_x \Delta x + k_y \Delta y - \omega_n \Delta t)}$$

$$\frac{\partial^2 \Psi(x, y, t)}{\partial x^2} \approx \frac{e^{j(k_x(i+1)\Delta x) - 2e^{j(k_x \Delta x)} + e^{j(k_x(i-1)\Delta x)}}}{\Delta x^2}$$

$$= -4 \sin^2\left(\frac{k_x \Delta x}{2}\right) \Psi^n(i, j, k)$$

$$\lambda_s = \frac{2\hbar^2}{m} \left[\frac{\sin^2\left(\frac{k_x \Delta x}{2}\right)}{\Delta x^2} + \frac{\sin^2\left(\frac{k_y \Delta y}{2}\right)}{\Delta y^2} \right] + V \quad (17)$$

Solusi numerik memerlukan kedua nilai eigen, baik temporal maupun spasial, dimana bagian spasial dan temporal dari persamaan Schrödinger adalah sama. Untuk memperoleh $|q| \leq 1$, diperoleh hubungan berikut:

$$\frac{2\hbar^2}{\Delta t} \geq \frac{2\hbar^2}{m} \left[\frac{\sin^2\left(\frac{k_x \Delta x}{2}\right)}{\Delta x^2} + \frac{\sin^2\left(\frac{k_y \Delta y}{2}\right)}{\Delta y^2} \right] + V \quad (18)$$

$$\frac{2\hbar^2}{\Delta t} \geq \frac{2\hbar^2}{m} \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right] + V$$

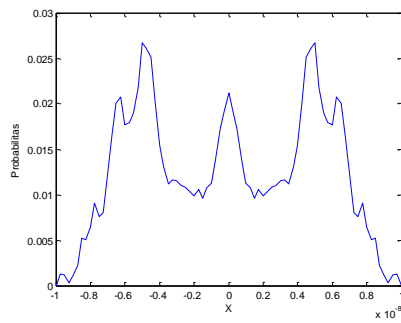
Dengan Δt sebagai fungsi dari diskritisasi spasial dan konstanta yang tersisa, nilai maksimum dari Δt yang menjamin kestabilan algoritma program^[7]:

$$\Delta t \leq \frac{\hbar}{\frac{\hbar^2}{m} \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right] + V} \quad (19)$$

HASIL

Satuan yang digunakan untuk besaran panjang adalah meter, massa adalah kg, waktu adalah detik, energi adalah eV ($1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ Joule}$). Beberapa tetapan yang digunakan antara lain massa elektron $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, tetapan Plank $\hbar = 6,5875 \times 10^{-16} \text{ eV.s}$.

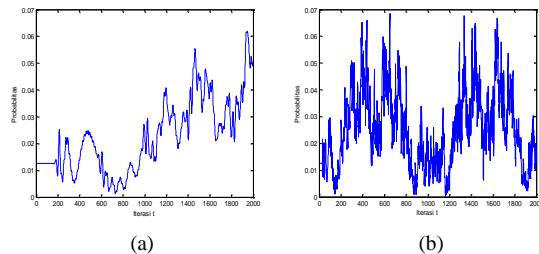
Solusi persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi secara numerik menggunakan metode FDTD-Q dengan mengambil -10^{-8} sebagai batas kiri dan 10^{-8} sebagai batas kanan yang dibagi dalam 80 segmen, jumlah segmen sebanyak 50, jumlah iterasi sebanyak 2000 dan dengan penambahan waktu sebesar $0,2 \Delta t_{\max}$ pada tiap kali iterasi waktu dimana besar Δt_{\max} dihitung menggunakan persamaan (19) untuk partikel bebas diperoleh grafik probabilitas terhadap posisi seperti pada gambar. 3.



Gambar. 3 Grafik probabilitas terhadap posisi pada iterasi t ke-430

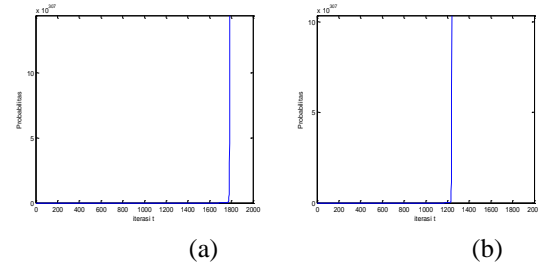
Grafik probabilitas terhadap posisi pada gambar 3 merupakan grafik probabilitas untuk semua tingkat energi. Grafik yang dihasilkan oleh program numerik ini merupakan grafik simetris hal ini disebabkan oleh proses numerik dilakukan dengan pola *leap frog* di mana pola *leap frog* yang dipilih menghasilkan grafik yang simetri, serta potensial dan lebar sumur bersifat simetri sehingga menghasilkan grafik probabilitas terhadap posisi yang simetri.

Stabilitas program dilihat dari grafik probabilitas terhadap iterasi waktu pada titik sembarang dengan jumlah segmen sebanyak 80, dengan jumlah iterasi sebanyak 2000 untuk $\Delta t = 0,2\Delta t_{max}$ dan untuk $\Delta t = \Delta t_{max}$ digambarkan pada Gambar . 4.



Gambar. 4 Grafik probabilitas pada titik sembarang selama dua ribu iterasi pertama (a) dengan $\Delta t = 0,2\Delta t_{max}$ (b) dengan $\Delta t = \Delta t_{max}$

Gambar. 4 menampilkan dua grafik probabilitas terhadap iterasi t dengan Δt yang berbeda. Gambar. 4(a) dengan $\Delta t = 0,2\Delta t_{max}$ dan gambar. 5(b) dengan $\Delta t = \Delta t_{max}$ program stabil karena memiliki nilai hingga iterasi ke-2000. Program masih stabil sampai $\Delta t \leq \Delta t_{max}$. Pada awal grafik terdapat garis horizontal yang terjadi karena pada awal iterasi t nilai fungsi gelombang imajiner Ψ_I belum terhitung pada semua titik diskritisasi. Semakin kecil Δt maka semakin banyak jumlah iterasi waktu yang dibutuhkan untuk menghitung seluruh titik diskritisasi untuk Ψ_I . Selain itu jumlah segmen juga mempengaruhi panjang garis horizontal, semakin banyak segmen maka semakin banyak iterasi waktu dibutuhkan untuk menghitung seluruh titik diskritisasi untuk Ψ_I . Perulangan grafik semakin cepat ketika Δt semakin besar.

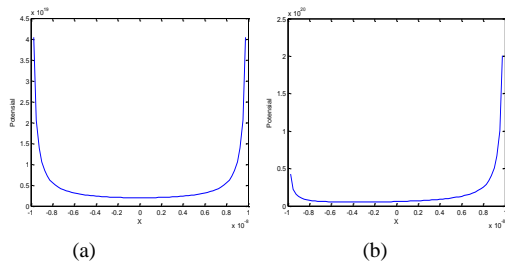


Gambar. 5 Grafik probabilitas pada titik sembarang selama dua ribu iterasi pertama (a) dengan

$\Delta t = 1,005\Delta t_{max}$ (b) dengan $\Delta t = 1,01\Delta t_{max}$

Gambar. 5 menampilkan dua grafik probabilitas terhadap iterasi t dengan Δt yang berbeda. Gambar. 5(a) dengan $\Delta t = 1,005\Delta t_{max}$ dan Gambar. 5(b) dengan $\Delta t = 1,01\Delta t_{max}$ program tidak stabil karena grafik menyimpang, probabilitas memiliki nilai sangat besar (tak berhingga). Untuk $\Delta t = 1,005\Delta t_{max}$ grafik mulai menyimpang pada sekitar iterasi ke-1800, sedangkan untuk $\Delta t = 1,01\Delta t_{max}$ grafik mulai menyimpang pada sekitar iterasi ke-1300. Program tidak stabil ketika $\Delta t > \Delta t_{max}$, semakin besar Δt maka grafik lebih cepat menyimpang (tak berhingga). Sesuai dengan persamaan (11.a) dan persamaan (11.b), Δt berbanding lurus dengan fungsi gelombang Ψ_R dan Ψ_I dimana Δt yang besar akan menyebabkan Ψ_R dan Ψ_I semakin besar pada iterasi berikutnya dengan syarat pada persamaan (19) untuk menjaga kestabilan program karena jika $\Delta t > \Delta t_{max}$ dihasilkan Ψ_R dan Ψ_I yang sangat besar yang menyebabkan nilai probailitas tak berhingga.

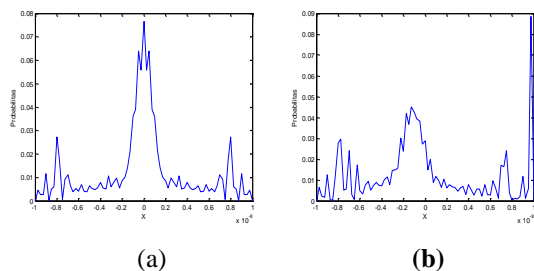
Setelah menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi untuk partikel bebas, program numerik dikembangkan untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi untuk elektron yang berada di antara dua inti atom (Potensial Coulomb). Nilai potensial pada program diganti, dalam kasus ini terdapat dua inti atom yang memiliki nilai potensial, yaitu inti atom yang terletak di kiri dan inti atom yang terletak di kanan. Bentuk grafik probabilitas terhadap posisi bergantung pada nilai kedua potensial tersebut.



Gambar. 6 Grafik potensial terhadap posisi dengan (a) nilai k dari kedua inti atom sama, (b) nilai k dari kedua inti atom tidak sama

Gambar. 6 menunjukkan grafik potensial simetri dan asimetri, Gambar. 6(a) dengan nilai $k = 10^{10}$ untuk inti atom di kiri dan di kanan menghasilkan grafik potensial simetri, Gambar. 6(b) dengan nilai $k_1 = 10^{10}$ untuk inti atom di kiri dan nilai $k_2 = 1,5 \times 10^{10}$ untuk inti atom di kanan menghasilkan grafik potensial asimetri.

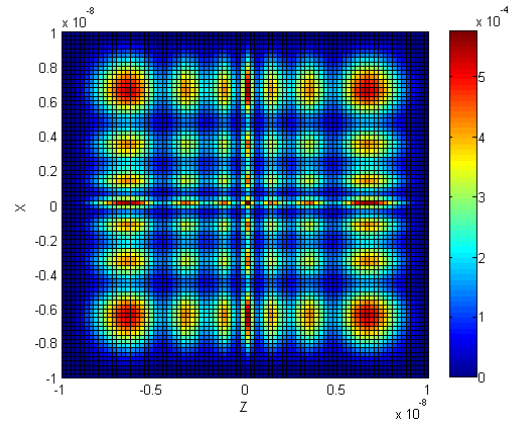
Dengan mengambil -10^{-8} sebagai batas kiri dan 10^{-8} sebagai batas kanan yang dibagi dalam 80 segmen, jumlah iterasi sebanyak 1000, dengan penambahan waktu sebesar $0,2\Delta t_{\max}$ pada tiap kali iterasi, diperoleh grafik probabilitas terhadap posisi:



Gambar. 7 Grafik probabilitas terhadap posisi dengan (a) nilai k dari kedua inti atom sama, (b) nilai k dari kedua inti atom tidak sama

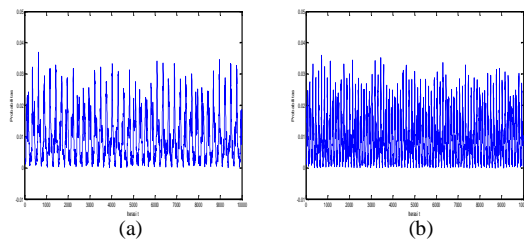
Gambar. 7 menunjukkan grafik probabilitas terhadap posisi. Gambar 7(a) dengan nilai $k = 10^{10}$ untuk inti atom di kiri dan di kanan menghasilkan grafik probabilitas simetri. Gambar. 7(b) dengan nilai $k_1 = 10^{10}$ untuk inti atom di kiri dan nilai $k_2 = 1,5 \times 10^{10}$ untuk inti atom di kanan menghasilkan grafik probabilitas asimetri.

Teknik FDTD-Q dikembangkan untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu 2 dimensi untuk partikel bebas. Beberapa nilai variabel yang digunakan dalam simulasi numerik ini antara lain -10^{-8} sebagai batas awal sumbu x , 10^{-8} sebagai batas akhir sumbu x , -10^{-8} sebagai batas awal sumbu z , 10^{-8} sebagai batas akhir sumbu z , yang masing-masing dibagi dalam 80 segmen, jumlah iterasi adalah sebanyak 1000 dan penambahan waktu sebesar $0,2\Delta t_{\max}$ pada tiap kali iterasi waktu dimana besar Δt_{\max} dihitung menggunakan persamaan (19), diperoleh grafik probabilitas terhadap posisi.



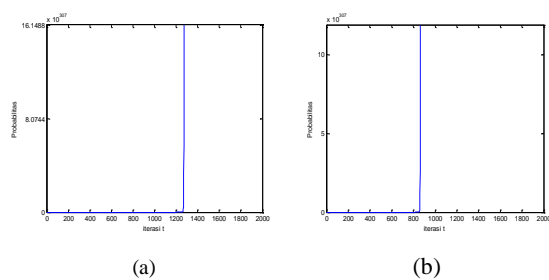
Gambar. 8 Grafik kontur probabilitas terhadap posisi pada iterasi ke-430 tampak dari atas

Gambar. 8 memperlihatkan tampilan grafik probabilitas tampak dari atas. Tampilan dari atas diperlukan untuk memperlihatkan keseluruhan grafik. Grafik bersifat simetri karena selain menggunakan pola *leap frog* dalam proses numerik yang menghasilkan grafik simetris, sistem kuantum memiliki nilai potensial dan lebar sumur yang simetri sehingga menghasilkan grafik probabilitas terhadap posisi yang simetri.



Gambar. 9 Nilai probabilitas hingga iterasi ke-10000 pada titik sembarang (a) dengan $\Delta t = 0,5\Delta t_{\max}$ dan (b) dengan $\Delta t = \Delta t_{\max}$

Gambar. 9 menampilkan kestabilan program yang dapat diamati selama $\Delta t \leq \Delta t_{\max}$. Grafik diperoleh dengan jumlah segmen masing-masing untuk sumbu x dan sumbu z adalah 20. Gambar. 9(a) dengan $\Delta t = 0,2\Delta t_{\max}$ dan Gambar. 9(b) dengan $\Delta t = \Delta t_{\max}$ program stabil karena memiliki nilai probabilitas hingga iterasi ke-10000. Pada grafik tampak perulangan yang terjadi dimana perulangan semakin cepat jika Δt semakin besar. Pola perulangan grafik ini sesuai dengan grafik yang ditampilkan pada penelitian sebelumnya (Soriano et al., 2004).



Gambar. 10 Nilai probabilitas hingga iterasi ke-2000 pada titik sembarang (a) dengan $\Delta t = 1,01\Delta t_{max}$ (b) dengan $\Delta t = 1,02\Delta t_{max}$

Gambar. 10 menampilkan dua grafik probabilitas terhadap iterasi t dengan Δt yang berbeda dengan jumlah segmen 40 untuk masing-masing sumbu x dan sumbu z . Gambar. 10(a) dengan $\Delta t = 1,01\Delta t_{max}$ dan Gambar. 10(b) dengan $\Delta t = 1,02\Delta t_{max}$ program tidak stabil karena grafik menyimpang, probabilitas memiliki nilai sangat besar (tak berhingga). Untuk $\Delta t = 1,01\Delta t_{max}$ grafik mulai menyimpang pada sekitar iterasi ke-1300, sedangkan untuk $\Delta t = 1,02\Delta t_{max}$ grafik mulai menyimpang pada sekitar iterasi ke-900. Program tidak stabil ketika $\Delta t > \Delta t_{max}$, semakin besar Δt maka grafik lebih cepat menyimpang (*blow up*). Sesuai dengan persamaan (11.a) dan persamaan (11.b), Δt berbanding lurus dengan fungsi gelombang Ψ_R dan Ψ_I dimana Δt yang besar akan menyebabkan Ψ_R dan Ψ_I semakin besar pada iterasi berikutnya dengan syarat pada persamaan (19) untuk menjaga kestabilan program karena jika $\Delta t > \Delta t_{max}$ dihasilkan Ψ_R dan Ψ_I yang sangat besar yang menyebabkan nilai probabilitas tak berhingga.

KESIMPULAN

Metode FDTD-Q dapat menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dimensi untuk partikel bebas dan potensial Coulomb serta persamaan Schrödinger bergantung waktu 2 dimensi untuk partikel bebas. Program numerik untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung

waktu 1 dimensi dengan metode FDTD-Q untuk potensial Coulomb menghasilkan grafik probabilitas terhadap posisi yang simetri jika nilai potensial kedua inti atom sama dan asimetri jika nilai potensial kedua inti atom berbeda. Program numerik untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger bergantung waktu 1 dan 2 dimensi dengan metode FDTD-Q untuk partikel bebas menghasilkan grafik kontur probabilitas terhadap posisi yang simetri karena dalam proses numerik digunakan pola *leap frog* yang menghasilkan grafik simetris. Telah dianalisis kestabilan program numerik dengan syarat kestabilan Courant dimana program stabil ketika $\Delta t \leq \Delta t_{max}$, dan ketika $\Delta t > \Delta t_{max}$ program tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- E. A. Navarro, 1992, PhD thesis, Universidad de Valencia.
- J. Nougier, 1983. *metodos de calcul Numerique*, Paris.
- J. R. Nagel, 2007, *The One-Dimensional Finite-Difference Time-Domain (FDTD) Algorithm Applied to the Schrödinger Equation*, Salt Lake City: Utah.
- Nagel, J. R. , 2010, *The Finite-Difference Time-Domain (FDTD) Algorithm*. Salt Lake City: Utah.
- Soriano Antonio, Enrique A. Navarro, Jorge A. Porti, Vicente Such, 2004, "Analysis Of The Time Difference Time Domain Technique To Solve The Schrodinger Equation For Quantum Devices," *Journal Of Applied Physics*, 95.12:8011-8018.
- Sullivan, D.M. and D. S. Citrin, 2002 "Time-Domain Simulation of a Universal Quantum Gate," *Journal of Applied Physics*, 96.5 : 3219-3226.
- Sullivan, D.M. and D. S. Citrin, 2001, "Time-Domain Simulation of Two Electrons in A Quantum Dot," *Journal of Applied Physics*, 89.7: 3841-3846.

KAJIAN *AB INITIO* STRUKTUR AMORPH DAN LIQUID SERTA SIFAT ELEKTRIK GOLD NANOPARTICLE

A. Aufa Fuad, Andi Zaidan, Adri Supardi

Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

Email : a.aufa.f@gmail.com

Abstrak

Ab initio adalah metode perhitungan yang menggabungkan *molecular dynamic (MD)* dengan *density functional theory (DFT)* guna memprediksi karakteristik nanopartikel melalui simulasi. SIESTA adalah perangkat lunak yang banyak dipakai dalam kajian *ab initio*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur dan sifat elektrik gold nanoparticle (GNP) saat masih di fase liquid dan ketika sudah amorph. Dari hasil penelitian diketahui GNP liquid didominasi coordination number 9, 8, 7 sebanyak 87.75%, sedangkan GNP amorph didominasi high coordination number 10, 11, 12 sebanyak 53.75%. Celah internal GNP liquid 2.34 Å sedangkan GNP amorph 2.5 Å. Band gap GNP liquid 0.03 eV sedangkan GNP amorph 0.01 eV.

Kata kunci : *ab initio*, SIESTA, gold nanoparticle.

PENDAHULUAN

Nanoteknologi menjadi topik yang hangat dalam perkembangan sains dekade terbaru ini. Nanoteknologi memiliki domain yang luas mencakup berbagai lintas disiplin keilmuan. Dalam bidang medis nanoteknologi dapat dimanfaatkan sebagai *fluorescent biolabeling*, biodeteksi patogen, deteksi protein dan plasma sejenis dalam sel, kajian struktur DNA, rekayasa jaringan, deteksi tumor, deteksi tumor, perlakuan terhadap kanker, *drug delivery*, dan *gen delivery* (Rajiv et al, 2012). Diantara beragam jenis nanopartikel, *gold nanoparticle* (GNP) populer dalam banyak penelitian. Sebagai logam mulia, GNP memiliki sifat-sifat yang biokompatibel seperti inert secara biologis, berkemampuan biokonjugasi, memiliki sifat terkontrol, ukuran yang sesuai dengan skala struktur biologis (virus dan bakteri) dan molekul (protein dan DNA) (Chui, 2007).

Telah diketahui bahwa pengaturan sifat nanopartikel, termasuk GNP, sangat dipengaruhi oleh strukturnya (Zhang et al, 2009). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikaji struktur GNP amorph dan sifat elektriknya. Kajian struktur yang akan dibahas meliputi distribusi sudut ikat, visualisasi struktur, *radial distribution function*. Sedangkan kajian sifat elektrik meliputi struktur pita dan *density of states*. Analisa struktur nanopartikel dan sifat elektriknya sangat sulit dilakukan secara eksperimen. Oleh karena itu perhitungan *ab initio* dengan metode simulasi *density functional theory* (DFT) menjadi solusi yang telah banyak digunakan.

METODE PENELITIAN

Terdapat beragam teknik dan pendekatan dalam penggunaan *ab initio* sebagai perhitungan numerik. Penelitian ini akan menggunakan metode yang dipakai oleh perangkat lunak SIESTA (*Spanish Initiative for Electronic Simulations with Thousands of Atoms*). Sebagian dari aspek utama pada SIESTA yang dilibatkan dalam penelitian ini akan secara ringkas dijelaskan.

Pseudopotentials

Pseudopotentials dalam SIESTA digunakan untuk mewakili efek interaksi elektron dengan inti.

Menentukan *pseudopotential* yang akan digunakan sangat bergantung dengan jenis potensial *exchange-correlation* (XC) fungsional terpakai, dimana jenis fungsional ini didekati oleh dua jenis pendekatan yakni GGA (Generalized Gradient Approximation) dan LDA (Local Density Approximation). Pada penelitian ini digunakan fungsional XC jenis LDA, sehingga *pseudopotential* yang digunakan adalah *pseudopotential* LDA dari Au (Artacho et al, 2012).

Basis Set

SIESTA menggunakan basis set untuk menghitung nilai eigen dan vektor eigen dari persamaan Kohn-Sham. Basis set ini merupakan kombinasi linear LCAO (*localized numerical atomic orbital*). Terdapat beberapa pilihan basis set mulai dari yang sederhana, yakni *single ζ* (SZ), hingga yang detail, yakni *triple ζ and polarization* (TZP) yang menuntut spesifikasi komputer yang lebih baik. Pada penelitian ini digunakan basis set *double ζ and polarization* (DZP) dengan tipe *split* (Artacho et al, 2012).

Atom dan Input Struktur

Pada penelitian ini disimulasikan sebanyak 80 atom Au yang kemudian disebut GNP. Ruang simulasi berupa kubus dengan konstanta kisi 12.177 Angstrom. Nilai konstanta kisi ditentukan dengan mempertimbangkan kerapatan sebenarnya dari 80 atom Au yakni 11.07 Angstrom ditambah 10%. Struktur awal dari 80 atom Au terlampaui.

KONSEP PERLAKUAN

Pada penelitian ini GNP mula-mula dipanaskan pada suhu 1500 K selama 10 ps, pada tahap ini GNP benar-benar telah menjadi liquid sebab titik lebur atom Au terjadi pada suhu 1338 K, langkah ini kemudian pada penelitian ini disebut tahap liquid.

GNP kemudian didinginkan dengan cepat ke suhu 300 K. Proses quenching dari 1500 K menjadi 300 K dilakukan selama 30 ps, tahapan ini kemudian disebut tahapan quenching.

Setelah suhunya menjadi 300 K, struktur GNP kini menjadi amorph dan direlaksasi dengan suhu tetap 300 K selama 10 ps, tahapan ini kemudian disebut tahap amorph.

Parameter Molecular Dynamic (MD)

Parameter MD yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti dalam tabel di bawah

TABEL I Parameter MD

Parameter	Nilai
Tipe MD	Nose
Nose mass	200
Tahap liquid	
Jumlah timestep	2500
Panjang timestep	4 fs
Temperatur awal	1500
Temperatur akhir	1500
Tahap quenching	
Jumlah timestep	7500
Panjang timestep	4 fs
Temperatur awal	1500
Temperatur akhir	300
Tahap amorph	
Jumlah timestep	2500
Panjang timestep	4 fs
Temperatur awal	300
Temperatur akhir	300

Parameter Iterasi

Parameter perhitungan dan iterasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti dalam tabel berikut ini

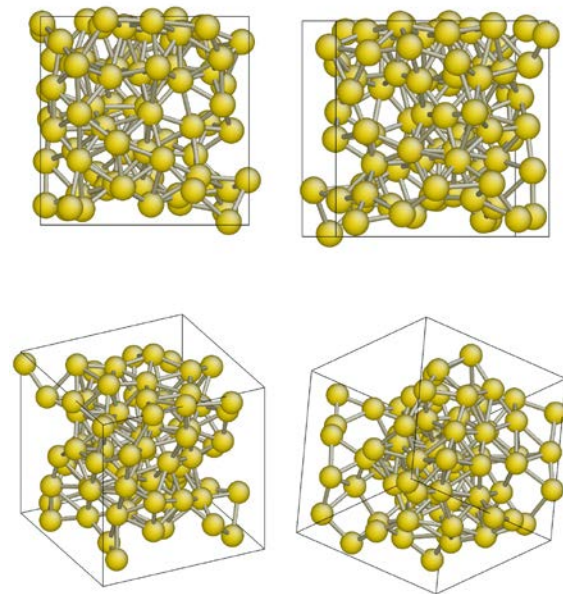
TABEL II
Parameter Iterasi

Parameter	Nilai
Mesh cutoff	70 Ry
Iterasi maksimal SCF (<i>Self-Consistent Field</i>)	100
Toleransi pada DM (<i>Density Matrix</i>)	0.0001
Jumlah Pulay DM	3
Penambahan berat pada DM	0.1
Mode simpan DM	True
Metode solusi	diagonal
Temprature elektronik	25 meV

HASIL DAN PEMBAHASAN

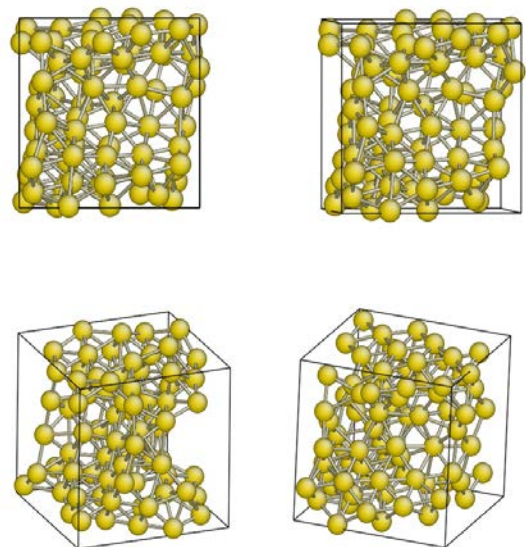
Analisa Visual

Visualisasi posisi tiap atom GNP pada tahap liquid ditunjukkan pada Gbr. 1 berikut



Gambar. 1. Visualisasi atomik dari GNP pada tahap liquid, objek yang sama ditampilkan dari 4 sudut pandang

Setelah menjalani semua perlakuan dan kemudian menjadi amorph hasil visualisasinya ditunjukkan pada Gbr. 2 dibawah. Dapat diketahui dari perbandingan Gbr. 2 dengan Gbr. 1 bahwa struktur atom pada tahap liquid dengan tahap amorph hanya berbeda sedikit, Gbr. 1 hanya sedikit lebih renggang dan tidak ada perbedaan mencolok (tidak ada atom yang terpisah dari klaster utama). Ini menunjukkan bahwa meskipun GNP telah meleleh namun antar atom masih kuat berikatan, hal ini disebabkan rapat jenis atom Au yang cukup tinggi.

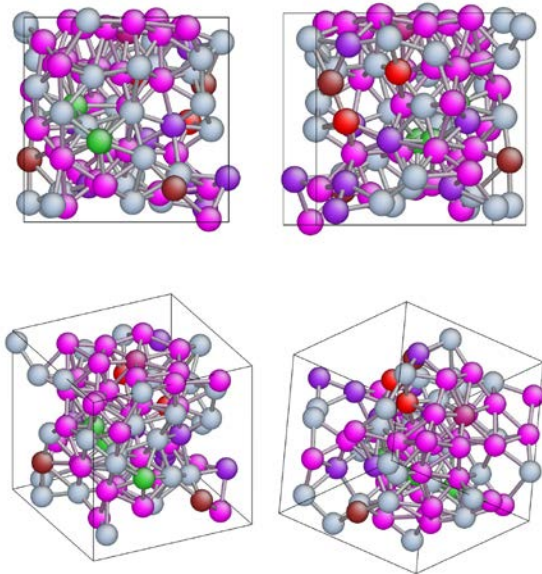


Gambar. 2. Visualisasi atomik dari GNP pada tahap amorph, objek yang sama ditampilkan dari 4 sudut pandang

Coordination Number

Visualisasi yang berbasis *coordination number* (jumlah ikatan) pada tahap liquid ditunjukkan pada Gbr. 3. Warna merah menunjukkan 5 *coordination number* artinya sebuah atom berikatan dengan 5 atom lain.

Kemudian secara berurutan warna coklat, ungu, biru muda, pink, hijau muda, dan merah keunguan menunjukkan atom berikatan dengan 6, 7, 8, 9, 10, 11 atom lain.



Gambar. 3. Visualisasi *coordination number* tahap liquid, sudut pandang yang digunakan sama dengan Gbr. 1

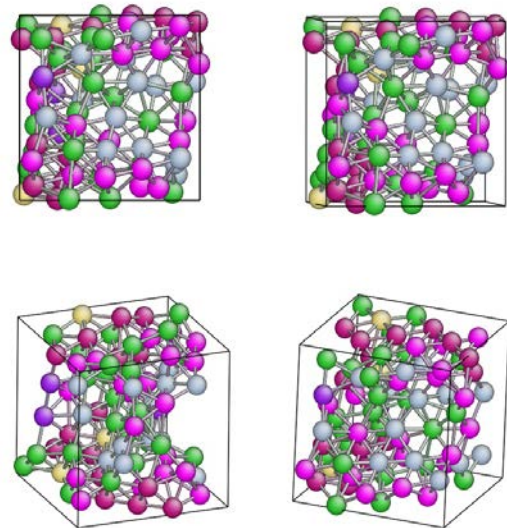
Dari Gbr. 2 tersebut didapatkan data yang termuat pada tabel berikut

TABEL III

Coordination Number Tahap Liquid

Warna	Kuantitas	Persentase	Ikatan
pink	33	41.25%	9
biru muda	30	37.5%	8
ungu	8	10%	7
coklat	3	3.75%	6
hijau muda	3	3.75%	10
merah	2	2.5%	5
ungu merah	1	1.25%	11

Sedangkan visualisasi *coordination number* setelah menjadi amorph adalah seperti Gbr.4 di bawah ini



Gambar. 4 Visualisasi *coordination number* tahap amorph, sudut pandang yang digunakan sama dengan Gbr. 2

Dari Gbr. 4 di atas didapatkan data yang termuat pada tabel berikut

TABEL IV

Coordination Number Tahap Amorph

Warna	Kuantitas	Persentase	Ikatan
hijau muda	25	31.25%	10
pink	20	25%	9
ungu merah	15	18.75%	11
biru muda	14	17.5%	8
kuning	3	3.75%	12
ungu	3	3.75%	7

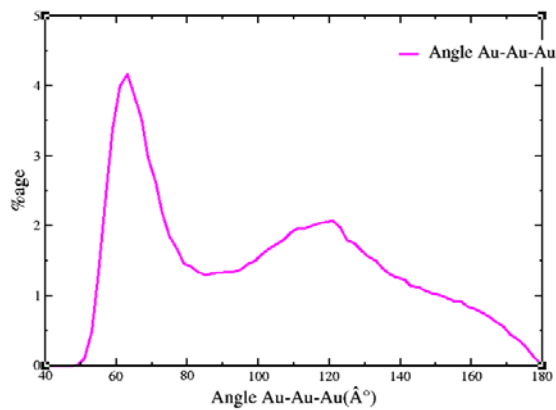
Dapat diketahui bahwa pada tahap ini struktur GNP didominasi oleh *high coordination number*, yakni 10, 11, 12 dengan total 53.75%.

Distribusi Sudut Ikatan

Pada tahap liquid didominasi sebesar 41.25% oleh struktur berbentuk *tricraft trigonal prism*, yaitu atom dengan 9 *coordination number*. Gambaran struktur geometris atom *tricraft trigonal prism* ditunjukkan pada Gbr 5.



Gambar. 5. *tricraft trigonal prism*



Gambar. 6. Grafik distribusi sudut ikat GNP tahap liquid

Sedangkan grafik distribusi sudut ikat pada tahap liquid ini ditunjukkan oleh Gbr. 6 berikut. Dari Gbr. 6 dapat diketahui bahwa sudut ikatan terbanyak adalah pada sudut 63.5° . Sudut pada rentang 50° hingga 80° merupakan kelompok sudut yang sering muncul hingga 40%. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan analisa *coordination number*.

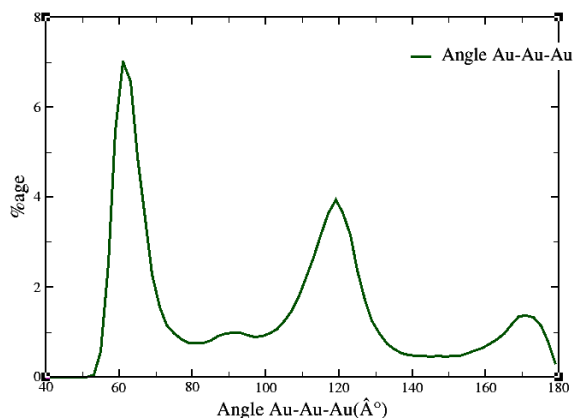
Adapun pada tahap amorph terdapat banyak atom yang memiliki *high coordination number*. Terbanyak adalah struktur berbentuk *bicapped square antiprism*, yaitu atom dengan 10 *coordination number*. Gambaran struktur geometris atom *bicapped square antiprism* ditunjukkan pada Gbr 7.



Gambar. 7. *bicapped square antiprism*

Terdapat pula struktur *icosahedron* yang tidak ditemui pada tahap liquid. Struktur dengan 12 *coordination number* ini adalah struktur khas fase padat kluster GNP. Bahkan bila *cooling rate* GNP dari fase liquid dibuat rendah maka GNP tidak amorph dan akan berbentuk *icosahedron* sempurna (Chui, 2007).

Selanjutnya grafik distribusi sudut ikat pada tahap amorph ini dapat dilihat pada Gbr. 8 berikut



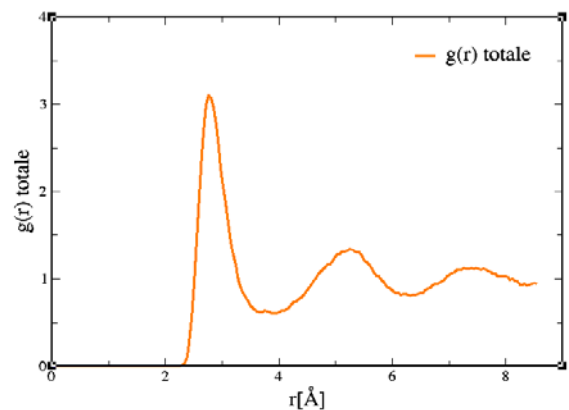
Gambar. 8. Grafik distribusi sudut ikat GNP tahap amorph

Puncak pertama berada pada rentang sudut 53° hingga 79° adalah kisaran sudut struktur *icosahedron* dan *bicapped square antiprism*. Secara

umum grafik tahap ini lebih tinggi dan ramping serta memiliki lebih banyak puncak dibanding tahap liquid, hal ini menunjukkan bahwa strukturnya telah baku, berbeda saat masih fase liquid yang sangat memungkinkan terjadi perubahan nilai sudut, sehingga grafiknya lebih gemuk di bawah.

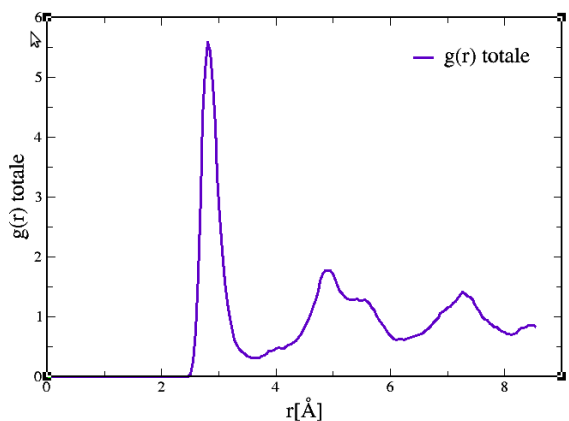
Radial Distribution Function (RDF)

Oleh karena 80 atom Au ini membentuk struktur GNP yang sangat rapat, maka analisa terhadap *radial distribution function* digunakan untuk mendapatkan informasi struktur internalnya. Grafik RDF tahap liquid ditunjukkan pada Gbr. 9 di bawah



Gambar. 9. Grafik RDF GNP tahap liquid

Sedangkan grafik RDF pada tahap amorph adalah seperti Gbr. 10 berikut

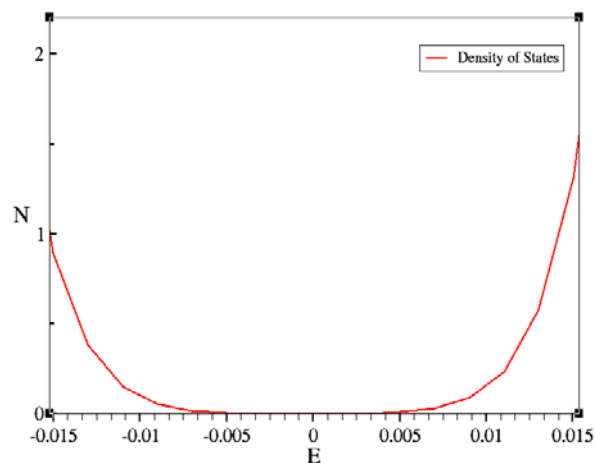


Gambar. 10. Grafik RDF GNP tahap amorph

Pada puncak kedua grafik RDF amorph yang lebar dan cenderung bercabang adalah karakteristik tipikal dari struktur glassy. Posisi puncak pertama pada tiap-tiap grafik RDF menjelaskan celah internalnya. Dari 2 grafik di atas dapat diketahui bahwa celah internal pada tahap liquid ($r=2.34$) lebih sempit dibandingkan amorph ($r=2.5$). Hal ini disebabkan *packing freedom* pada fase liquid yang lebih besar, artinya sebuah atom akan berikatan dengan atom lain lebih mudah dan sedekat mungkin (Chui, 2007).

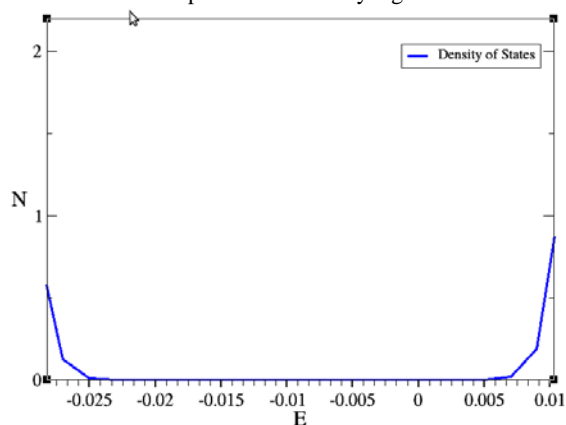
Rapat Keadaan

Disamping dilakukan kajian struktur, dilakukan pula kajian sifat elektrik GNP melalui analisa rapat keadaan (*density of states*). Grafik rapat keadaan GNP pada tahap amorph adalah sebagai berikut



Gambar. 11. Grafik rapat keadaan GNP amorph
Dari Gbr. 11 dapat diketahui bahwa band gap untuk GNP di tahap ini adalah mulai -0.005 sampai 0.005 yakni selebar 0.01 eV. Band gap yang sedemikian kecil menunjukkan bahwa GNP adalah konduktor yang sangat baik.

Sedangkan grafik rapat keadaan saat GNP masih di fase liquid adalah seperti Gbr. 12. Dari Gbr. 12 tersebut dapat diketahui bahwa band gap untuk GNP di saat masih di fase liquid -0.025 sampai 0.005 yakni selebar 0.03 eV. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagai konduktor, meskipun tidak sebagus saat sudah amorph (0.01 eV), namun masih merupakan konduktor yang baik



Gambar. 11. Grafik rapat keadaan GNP amorph

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa GNP liquid didominasi *coordination number* 9, 8, 7 sebanyak total 87.75%, sedangkan GNP amorph didominasi *high coordination number* 10, 11, 12 sebanyak 53.75%. *Packing freedom* GNP liquid yang lebih besar membuat antar atom akan berikatan lebih mudah dan sedekat mungkin sehingga celah internal GNP liquid lebih dekat yakni 2.34 Å, sedangkan GNP amorph 2.5 Å. Baik fase liquid maupun amorph GNP merupakan konduktor yang sangat baik sebab band gap GNP liquid 0.03 eV sedangkan GNP amorph 0.01 eV.

DAFTAR PUSTAKA

- Artacho, Emilio. Et al. 2012. "User's Guide SIESTA 3.2". Universidad Aut'ónoma de Madrid; Spain
- Artacho, Emilio Et al. 2002. "The Siesta method for *ab initio* order-N materials simulation". J. Phys. Cond. Matt. 14, 2745
- Chui, Yu Hang. 2007. "Molecular Dynamics Study of Structure and Stability in Au Nanoparticles". PhD Thesis. RMIT University; Melbourne, Australia
- Saini, Rajiv; Saini, Santosh, Sharma, Sugandha. 2012. "Nanotechnology: The Future Medicine". Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery 3 (1): 32-33
- wwwchem.uwimona.edu.jm/courses/IC10Kcn.htm
- W. Kohn, L. J Sham. 1995. *Self-Consistent Equation Including Exchange and Correlation Effect*. J. Phys.Rev. 140
- Zhang, Jin Zhong. 2009. "Optical Properties and Spectroscopy of Nanomaterials". University of California. Santa Cruz; USA

PENGARUH BESAR TURBULENSI TERHADAP PERFORMANSI PENINGKATAN KECEPATAN ANGIN LOKAL PADA *DIFFUSER-AUGMENTED WIND TURBINE* (DAWT) DENGAN VARIASI SUDUT *FLANGE*

M Nurur Rochman¹, Aulia Nasution², Gunawan Nugroho³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi
Sepuluh Nopember (ITS)

Email : ¹ rochman12@mhs.ep.its.ac.id, ² anasution@ep.its.ac.id, ³
gunawan@ep.its.ac.id

Abstrak

Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT) memberikan potensi untuk mengatasi ketersediaan energi angin di daerah tropis seperti di Indonesia yang kecepatan rata-rata tahunan dari 3-5 m/s. sehingga diperlukan manipulasi kecepatan angin agar efisiensi konversi energi angin dapat meningkat. Dalam paper ini, studi komputasi CFD telah dilakukan, untuk mengetahui pengaruh penambahan flange pada diffuser terhadap perubahan kecepatan angin dalam diffuser. Penambahan model flange berbentuk datar (flat-flange) telah disimulasikan. Perubahan sudut pada pemasangan flange juga memiliki pengaruh terhadap perubahan kecepatan angin maksimum di dalam diffuser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan flange pada diffuser akan lebih meningkatkan kecepatan udara di dalam diffuser. penambahan flange datar akan meningkatkan kecepatan udara hingga 65% lebih tinggi. Sementara itu, dengan mengoptimalkan posisi sudut flange, akan meningkatkan kecepatan angin hingga 4% (yaitu max di $\phi = 60^\circ$). Peningkatan kecepatan angin pada diffuser dipengaruhi oleh besarnya turbulensi yang terbentuk pada area belakang diffuser (output area). Semakin besar besar vorteks yang terbentuk, maka semakin besar pula peningkatan kecepatan angin yang terjadi.

Kata kunci : DAWT, penambahan flange, flange DAWT, Optimasi Curvature Wall, sudut Flange.

PENDAHULUAN

Isu global yang sedang menjadi sorotan adalah permasalahan tentang energi. Sumber energi yang selama ini menjadi konsumsi utama masyarakat khususnya di Indonesia adalah energi bahan bakar dari minyak bumi, batu bara, dan gas alam yang sewaktu-waktu akan habis jika dikonsumsi secara terus menerus. Diperkirakan dalam kurun tak lebih dari 20 tahun, persediaan migas di Indonesia akan habis. Maka dari itu, perlu adanya revolusi penyediaan sumber energi dari sumber terbarukan dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. pengembangan sumber energi terbarukan sangat diperlukan untuk penyediaan energi di waktu yang akan datang. Salah satu pengembangan energi terbarukan adalah melalui pemanfaatan energi angin. Pemanfaatan energi angin merupakan solusi yang baik karena energi angin dapat diperoleh secara bebas.

Indonesia merupakan negara tropis yang Rata-rata memiliki kecepatan angin 3-5 m/s (ESDM, 2012). Sehingga pengembangan wind turbine pada tipe HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) tidak dimungkinkan karena desain tersebut membutuhkan kecepatan angin yang relatif tinggi untuk mendapatkan efisiensi yang baik. Meskipun mempunyai relatif kecil, Indonesia mempunyai potensi energi angin sebesar 9190 MW. Hingga saat ini, pengembangan terhadap potensial tersebut hanya 1,1 MW, sehingga ada sekitar 99% potensi angin yang belum dimanfaatkan sebagai sumber energi (U.S. Department of Commerce, 2010). Oleh karena itu, untuk memanfaatkan energi angin di Indonesia diperlukan usaha yang lebih efektif. Hingga saat ini, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memanipulasi kecepatan angin dengan menggunakan *diffuser* sehingga didapatkan kecepatan lokal yang lebih tinggi.

Salah satu konsep yang sedang berkembang adalah DAWT (*Diffuser-Augmented Wind Turbine*), yang merupakan pengembangan dari konsep HAWT yang dilengkapi dengan selubung pada rotornya.

Konsep tentang DAWT sudah berkembang sejak tahun 1977. Pada saat itu, telah dijelaskan bahwa DAWT dapat menurunkan tekanan udara sampai 0,6 kali tekanan udara *freestream*. Hal tersebut memungkinkan penarikan udara sehingga udara mengalir lebih cepat pada turbin (Foreman et al, 2010).

Perkembangan DAWT terus dilakukan untuk meningkatkan keluaran daya. Peningkatan daya di dalam teknologi DAWT disebabkan oleh meningkatnya kecepatan generator dan torsi keluaran sehingga daya dapat meningkat secara signifikan. Peningkatan kecepatan angin dalam *Diffuser* juga dapat meningkatkan daya listrik untuk turbin yang berukuran relatif kecil (Chen et al, 2011; Wang et al, 2008; Toya et al, 2007).

Pengembangan desain DAWT yang telah dilakukan adalah dengan penambahan *flange* (Ohya et al, 2008), dimana selubung yang berbentuk seperti kerucut terpancung dengan interior dalam rata, yang dilengkapi dengan sebuah *flat flange* pada bagian belakang selubung. Desain tersebut memberikan peningkatan kecepatan 1,6 hingga 2,4 kali kecepatan angin yang datang. Dengan membuat DAWT yang relatif panjang daya keluaran dapat ditingkatkan sekitar 4-5 kali (Ohya et al, 2010). Ini dikarenakan wilayah bertekanan kecil membuat formasi vorteks yang lebih kuat sehingga perpindahan massa udara ke dalam *Diffuser* semakin kuat.

Pengembangan DAWT juga telah dilakukan dengan desain permukaan lengkung (Nasution et al, 2011). Dengan mengadopsi desain Airfoil, DAWT didesain menggunakan standar NACA 5807. Desain tersebut lebih baik dari pada desain DAWT dengan permukaan datar yang hanya dapat meningkatkan kecepatan angin hanya sebesar 30% dari kecepatan angin *freestream*. Efek dari penambahan permukaan lengkung terhadap kecepatan angin di dalam *Diffuser* tersebut didapatkan hasil kecepatan angin yang

bertambah hingga 65% lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan angin *freestream*.

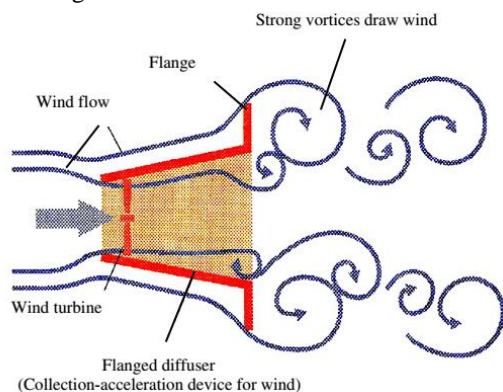
Hasil dari penelitian sebelumnya, memberikan dasar dalam penelitian ini untuk menggabungkan permukaan lengkung dengan penambahan *flange*. Menurut Ohya, 2008, Penambahan *flat flange* dapat membentuk turbulensi yang besar pada daerah keluaran *Diffuser* yang menyebabkan adanya gaya tarik udara pada area masukan *Diffuser* sehingga dapat mempercepat angin lokal pada posisi penempatan rotor blade, yang mengakibatkan peningkatan kecepatan udara dalam *Diffuser* jauh lebih tinggi. Sehingga, salah satu cara menghasilkan turbulensi yang besar dapat dilakukan dengan pemberian *flange*. *Flange* dengan ukuran tertentu akan membentuk dua putaran vorteks yang berlawanan arah rotasi sehingga menyebabkan tarikan angin ke dalam *Diffuser* menjadi semakin besar (Kardous et al, 2013). Variasi sudut akan dilakukan dalam penelitian ini untuk menghasilkan kinerja *Diffuser* yang optimum. Penelitian ini, menggunakan desain *Diffuser* lengkung dengan *flange* berbentuk *flat* yang akan dilakukan variasi sudut. Pada akhir penelitian ini, akan diketahui profil kecepatan angin yang paling tinggi pada DAWT dengan *flat-flange* sehingga performansi dari desain DAWT akan menjadi semakin baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan mendesain bentuk geometri dari DAWT. Berawal dari desain DAWT berbasis Airfoil yang dikembangkan oleh Deka (Deka et al, 2010), ditambahkan *flange* yang berupa *flat-flange*. Desain geometri dari *flat-flange* diberikan seperti *flat-flange* yang telah dikembangkan oleh Ohya (Ohya et al, 2008).

Variasi sudut pada desain *flange* berbentuk *flat* dilakukan pada saat simulasi CFD. Variasi sudut dilakukan mulai dari 0° hingga batas yang ditentukan. variasi sudut dilakukan untuk memaksimalkan desain *flange* sehingga didapatkan kecepatan yang maksimal dalam DAWT.

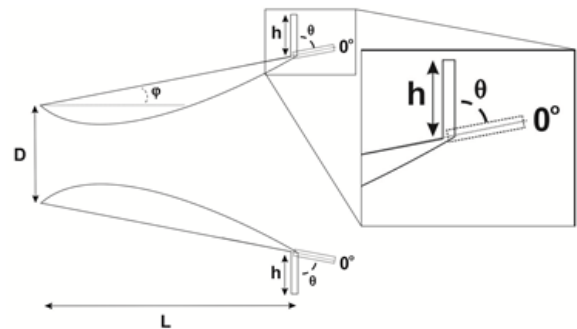
Desain Flange Diffuser



Gambar 1. DAWT dengan penambahan *Flange* (Ohya, 2008)

Dalam penelitian ini, bentuk geometri DAWT akan disesuaikan dengan penelitian sebelumnya (Ohya et al, 2008) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Pada penelitian sebelumnya bentuk geometri DAWT,

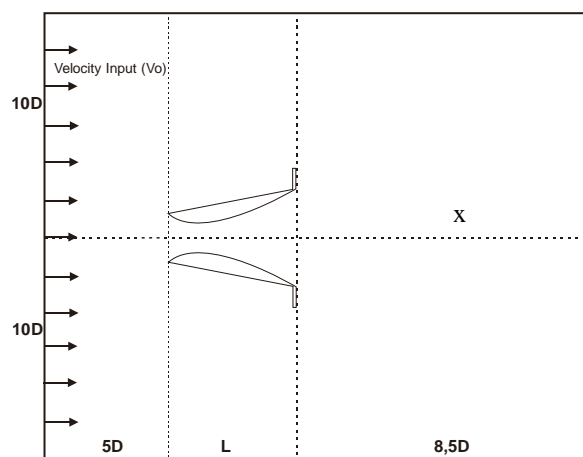
antara panjang (L) dan diameternya (D) memiliki perbandingan $L/D = 1,5$. Kemudian *flange* yang telah dianalisa oleh Ohya (Ohya et al, 2008) akan digunakan sebagai penambahan *flange* pada DAWT dengan curvature lengkung yang telah dikembangkan oleh Deka (Deka et al, 2010). Menurut Ohya (Ohya et al, 2008), kriteria *flat-flange* yang paling efektif ketika tinggi *flange* (h) berbanding dengan diameter *Diffuser* (D) yaitu $h/D = 0,25$ (Gambar 3).



Gambar 2. Bentuk Geometri DAWT dengan *flange* sebelum dilakukan simulasi

Sudut (ϕ) merupakan kemiringan bentuk *Diffuser* berbasis Airfoil. Besar sudut tersebut diberikan sesuai dengan penelitian sebelumnya (Nasution et al, 2011), yang menyatakan bahwa kemiringan DAWT berbasis Airfoil 5807 yang paling efektif adalah 6° . Variasi sudut (θ) merupakan variasi sudut *flange* yang nantinya akan diberikan variasi nilai. Variasi nilai dilakukan dengan memperhatikan posisi sudut (ϕ) *Diffuser*. Jadi besar kemiringan Sudut (ϕ) merupakan sudut 0° pada posisi sudut (θ). Sehingga, boleh dikatakan bahwa posisi sudut maksimum yang dapat diberikan pada besar sudut *flange* adalah 90° – besar sudut (ϕ) (Gambar 2).

Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)



Gambar 3. Bentuk dan Ukuran Ruang Simulasi CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan software mengenai simulasi aliran fluida. Software CFD dalam penelitian ini, dipergunakan mensimulasikan aliran fluida untuk mengetahui profil kecepatan angin dari desain DAWT berbasis Airfoil yang telah dibuat. Setelah beberapa geometri telah

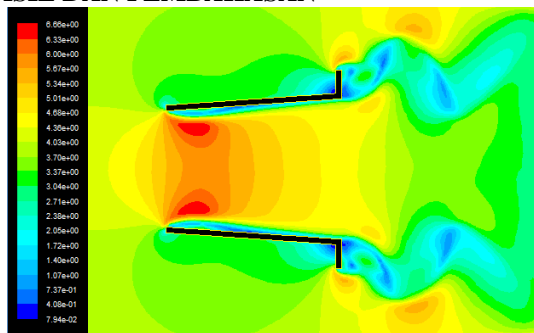
dibuat, maka dilakukan pembuatan ruang dalam CFD untuk melakukan simulasi. Ukuran ruang simulasi pada CFD diberikan seperti pada Gambar 3.

Hasil simulasi merupakan profil kecepatan angin yang direpresentasikan dalam sebuah grafik antara perbandingan kecepatan angin dalam DAWT (U) dibagi kecepatan angin *freestream* (U_0) dengan posisi pengukuran sepanjang DAWT pada garis horizontal axis (x) seperti pada Gambar 3. Simulasi dilakukan dengan menerapkan beberapa besar kecepatan angin (V_0) rendah antara 4 m/s. Hal ini berdasarkan rata-rata kecepatan angin rendah khususnya di daerah Indonesia.

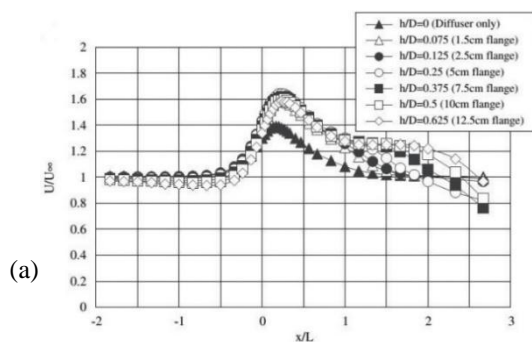
Simulasi Tahap Awal (Validasi)

Simulasi tahap awal merupakan uji coba kembali parameter-parameter bentuk geometri pada penelitian sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan hasil simulasi dari penelitian sebelumnya dengan simulasi yang kita lakukan jika diberikan dengan kondisi batas yang sama. Simulasi tahap awal ini, menggunakan parameter-parameter geometri pada penelitian Ohya (Ohya et al, 2008) yang telah melakukan penelitian mengenai *flat-Diffuser* dengan menggunakan *flat-flange* yang berdiri vertikal di belakang *Diffuser* (Gambar 1). Simulasi tahap awal juga dilakukan berdasarkan parameter-parameter geometri pada penelitian Deka (2010) yang merupakan pengembangan DAWT dengan interior lengkung.

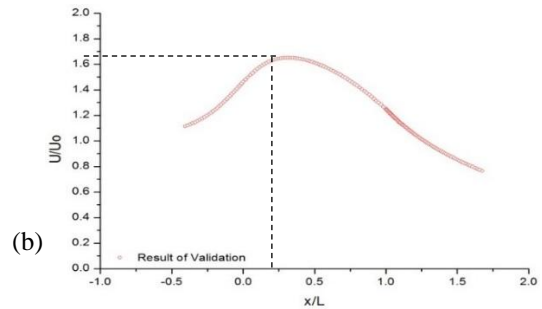
HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. Profil Kecepatan Aliran Angin pada *Flat-Diffuser* dengan *Flat-Flange*



(a)



Gambar. 5 Hasil Validasi : a) dari Ohya dkk (2008) ,
b) Simulasi Validasi yang Telah Dilakukan

Simulasi Tahap Awal (Validasi)

Simulasi tahap awal merupakan simulasi dengan geometri dari penelitian sebelumnya. Hal ini diperlukan untuk validasi hasil dengan kondisi batas atau pemberian parameter yang sama. Pada penelitian sebelumnya (Ohya et al, 2008) telah melakukan penelitian mengenai *flat-Diffuser* dengan menggunakan *flat-flange* yang berdiri vertikal di belakang *Diffuser* (Gambar 1). Dengan memisalkan bahwa DAWT yang akan dibuat berdiameter (D) 1 meter maka geometri Airfoil yang digunakan dalam simulasi ini Antara lain:

Panjang *Diffuser* (L) = 150 cm

Sudut kemiringan *Diffuser* = 4°

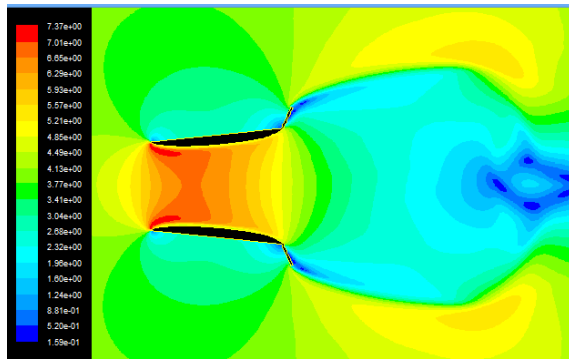
Tinggi *flange* = 25 cm

Kecepatan angin yang digunakan = 4 m/s

Setelah disimulasikan di dapatkan profil kecepatan aliran angin seperti pada Gambar 6. Pada Profil tersebut menunjukkan kecepatan angin di dalam *Diffuser* bertambah besar. Kenaikan kecepatan angin yang terjadi di dalam *Diffuser* hingga mencapai 65%. Kecepatan angin pada area tengah *Diffuser* dinyatakan dalam grafik (Gambar 4). Jika diamati, kecepatan angin terbesar berada pada posisi $x/L \approx 0,3$ dari ujung depan *Diffuser*. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, maka hasil simulasi memiliki hasil kecepatan maksimum yang hampir sama (Gambar 5).

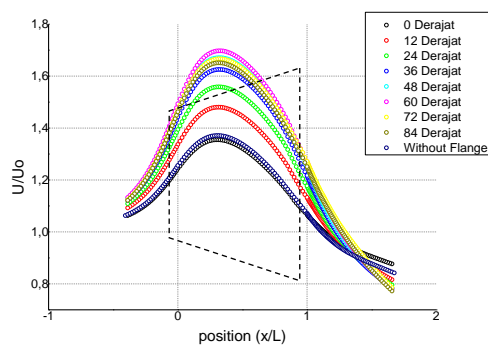
Simulasi *Diffuser* Kurvatur Lengkung dengan *Flat-flange*

Dengan melakukan perbandingan geometri yang sama dengan sebelumnya, maka dibuatlah beberapa geometri DAWT dengan berbagai variasi sudut *flange*. Variasi sudut *flange* dilakukan mulai dari sudut 0° hingga *flange* berdiri vertikal yaitu tegak lurus dengan arah angin. Posisi 0° merupakan sudut kemiringan dari DAWT sehingga besar sudut *flange* yang dapat diberikan kurang dari 90° (Gambar 3). Dalam hal ini, geometri DAWT menggunakan sudut kemiringan (φ) 6° sehingga besar sudut *flange* yang dapat diberikan $90^\circ - 6^\circ = 84^\circ$. Setelah membuat beberapa geometri, dilakukan simulasi dengan hasil profil kecepatan angin seperti pada Gambar 6.

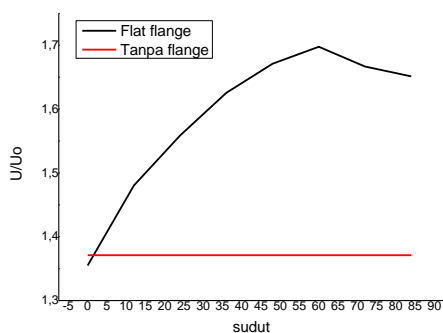


Gambar 6. Profil Kecepatan Aliran Angin pada *Diffuser* lengkung dengan *Flat-Flange* pada sudut 60°

Variasi sudut *flat-flange* diberikan mulai dari sudut 0° hingga 84° dengan interval 12°. Hasil simulasi pada posisi sudut *flange* yang berbeda dapat diamati pada Gambar 7. Terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan kecepatan angin terhadap perubahan sudut *flat-flange*. Setiap perubahan posisi sudut *flange* diikuti juga perubahan posisi kecepatan maksimum yang ada di dalam *Diffuser*. Kecepatan angin tertinggi didapati pada posisi sudut *flange* 60°. Peningkatan kecepatan angin yang terjadi hingga mencapai 69%. Jika dibandingkan dengan *Diffuser* lengkung tanpa *flange* maka kecepatan angin meningkat 29% lebih besar. Kecepatan angin maksimum berada pada rentang posisi $x/L \approx 0,3$.



Gambar 7. Grafik Profil Kecepatan Aliran Angin pada *Diffuser* lengkung dengan *Flat-Flange* pada sudut 0° hingga 84°

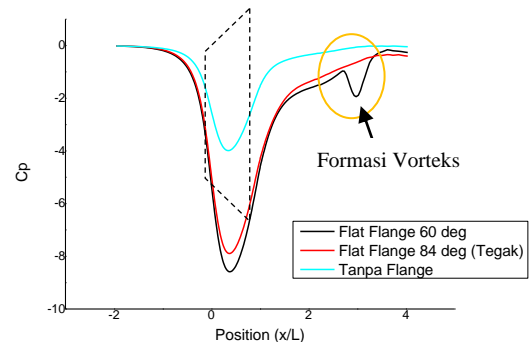


Gambar 8. Grafik Perbandingan Kecepatan Maksimum Aliran Angin pada *Diffuser* Lengkung tanpa *Flange* dan dengan *Flat-Flange* pada sudut 0° hingga 84°.

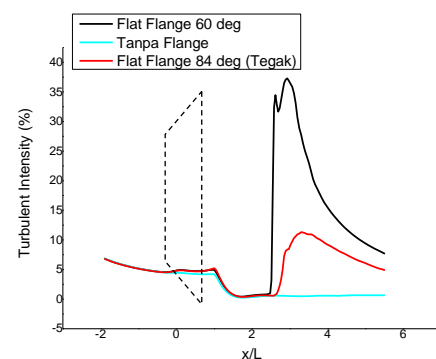
Diffuser dengan kurvatur lengkung jika dibandingkan dengan penambahan *flat-flange*, peningkatannya cukup signifikan dibandingkan tanpa *flange* (Gambar 8). Dari grafik tersebut dapat diketahui penambahan *flange* tidak selalu dipasang tegak/vertikal, tetapi variasi sudut yang dilakukan juga dapat meningkatkan kecepatan angin.

Pengaruh Formasi Turbulensi terhadap Peningkatan Kecepatan Angin pada *Diffuser* Lengkung dengan *Flange*

Peningkatan kecepatan angin di dalam *diffuser* dipengaruhi oleh besar turbulensi/ vorteks yang terjadi di area *output diffuser*. Semakin besar vorteks yang terjadi maka semakin besar peningkatan kecepatan angin di dalam *diffuser*. Hal ini disebabkan karena vorteks memberikan efek hisap (*suction effect*) kepada *diffuser* (Ohya et al, 2008). Terjadinya vorteks ditandai dengan adanya penurunan koefisien tekanan pada sekitar area *diffuser* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Terjadinya turbulensi/ vorteks pada area $x/L=3$. Pada area tersebut didapatkan penurunan tekanan cukup besar pada *diffuser* dengan *flat-flange* 60° yang merupakan desain *diffuser* yang paling baik. Hal ini mengindikasikan bahwa besaran formasi vorteks mempengaruhi peningkatan kecepatan angin di dalam *diffuser*.



Gambar 9. Grafik Penurunan Koefisien Tekanan pada *Diffuser* Lengkung Tanpa *Flange*, Menggunakan *Flat-Flange* (60°), dan Menggunakan *Flat-Flange* Tegak (84°)



Gambar 10. *Turbulence Intensity* pada *diffuser* lengkung dengan *flat* Lange 84° (tegak), *flat* Lange 60°, dan tanpa *flange*.

Hal serupa juga dapat diamati pada Grafik Intensitas turbulensi pada Gambar 10. Pada area yang sama Diana tempat terjadinya formasi vorteks intensitas turbulensi meningkat cukup signifikan pada *Diffuser* dengan *flat-flange* 60°. Sehingga kecepatan angin pada *diffuser* tersebut meningkat [paling tinggi Siantar desain yang lain.

KESIMPULAN

Beberapa simulasi desain DAWT dengan penambahan *flange* telah dilakukan. Setelah melakukan beberapa analisa dapat disimpulkan bahwa Penambahan *flat-flange* pada DAWT curvature lengkung dapat lebih meningkatkan kecepatan angin di dalam *Diffuser* sebesar 29% dari desain *diffuser* lengkung tanpa *flange*. Penambahan *flange* dengan variasi sudut dapat meningkatkan kecepatan angin hingga 65% dari kecepatan angin *freestream* (U_0), dimana *flat-flange* pada posisi sudut 60° dapat meningkatkan 4% lebih besar dibandingkan dengan penambahan *Lange* pada posisi tegak (84°). Peningkatan kecepatan angin yang terjadi pada *diffuser* sangat dipengaruhi oleh besarnya turbulensi/ vorteks yang terjadi pada area *output diffuser*. Semakin besar vorteks yang terjadi maka semakin besar peningkatan kecepatan angin di dalam *diffuser*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen. T. Y., Y. (2012). Development of small wind turbines for moving vehicles: Effects of flange Diffusers on rotor performance. *Experimental thermal and fluid science*, 136-142.
- Deka, W. P., & Nasution, A. M. (2010). Interior Lengkung Diffuser Untuk Peningkatan Performansi Diffuser-Augmented Wind Turbine (DAWT). *Seminar Nasional Energi Terbarukan Indonesia I*, (hal. 1-5). Purwokerto.
- Foreman, K. M., Gilbert, B., & Oman, R. A. (1978). Diffuser Augmentation Of Wind Turbines. *Solar Energy*, 305-311.
- Kardous. M., R. C. (2013). On The Dependence of an Empty Flange Diffusers Performance on Flange Height : Numerical Simulations and PIV Visualization. *Renewable Energy*, 123-128.
- Kementrian ESDM. (2012). *Potensi Energi Indonesia*. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Nasution, A., & Deka, W. P. (2011). Optimized Curvature Interior Profile for Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT) to increase its energy-conversion performance. *IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET*, 315-320.
- Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K.-i., & Inoue, M. (2008). Development of a Shrouded Wind Turbine with a Flange Diffuser. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96, 524-539.
- Ohya, Y., & Karasudani, T. (2010). A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology. *Energies*, 634-649.
- Toya. H., T. K. (2007). Fluid Flow Analysis and Design of a Shroud for Wind Turbine using Ansys. *International Conference On Electrical Machines And Systems*, (pp. 298-301). Seoul.
- U.S. Department of Commerce. (2010). *Renewable Energy Market Assessment Report: Indonesia*. Washington: International Trade Administration
- Wang. F., L. B. (2008). Development of Small Domestic Wind Turbine with Scope and Prediction of Its Annual Power Output. *Renewable energy*, 1637-1651.

STUDI AWAL INTERAKSI SITUS AKTIF ASETILKOLINESTERASE DENGAN MOLEKUL ASETIKOLIN DAN *RIVASTIGMINE* DENGAN MENGGUNAKAN TEORI FUNGSIONAL KERAPATAN.

Vera Khoirunisa¹, Masrufaiyah², Fatimatuzzahro³, Febdian Rusydi⁴

¹ Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung

² Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember

^{3,4} Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga

⁴ Departement of Applied Physics Osaka University

Email : vevekho@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kereaktifan molekul substrat (acetylcholine dan rivastigmine) terhadap enzim asetilkolinesterase (AChE) menggunakan teori fungsional kerapatan. Motivasi dari penelitian ini adalah mempelajari kenapa molekul obat rivastigmine mampu menggantikan molekul neurotransmitter asetilkolin untuk berikatan dengan enzim asetilkolinesterase sehingga dapat mencegah enzim asetilkolinesterase untuk memecah asetilkolin. Energi ikat sistem AChE-substrat dihitung dengan menggunakan fungsi pertukaran korelasi B3LYP dan basis set 6-31G(d,p) yang diimplementasikan dalam perangkat lunak Gaussian03. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem AChE-rivastigmine memiliki energi ikat 0,18 eV lebih besar daripada energi ikat dari sistem AChE-asetilkolin. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa sistem AChE-rivastigmine memiliki kestabilan yang lebih tinggi daripada sistem AChE-asetilkolin.

Kata kunci : asetilkolinesterase, asetilkolin, rivastigmine, teori fungsional kerapatan.

PENYELESAIAN PERSAMAAN DIRAC PADA POTENSIAL POSCHL-TELLER TRIGONOMETRIK PLUS POTENSIAL TENSOR TIPE COULOMB UNTUK KASUS PSEUDOSPIN SIMETRI MENGGUNAKAN POLINOMIAL ROMANOVSKI

Kholida Ismatulloh¹, ST. Nurul Fitriani¹, Cari¹, Suparmi¹

¹ Jurusan Ilmu Fisika Program Pascasarjana
Universitas Sebelas Maret Surakarta
Email : kholida.ismaza@gmail.com

Abstrak

Energi relativistik dan fungsi gelombang untuk potensial Poschl-Teller trigonometrik dengan potensial tensor tipe Coulomb pada kasus Pseudospin simetri diperoleh dari penyelesaian persamaan Dirac menggunakan metode Polinomial Romanovski. penyelesaian persamaan Dirac dengan polinomial Romanovski dilakukan dengan cara mereduksi persamaan diferensial orde dua menjadi persamaan tipe hipergeometri melalui substitusi variabel dan fungsi gelombang yang sesuai. Dengan membandingkan persamaan tipe hipergeometri dan persamaan diferensial standar untuk polinomial Romanovski diperoleh persamaan energi relativistik dan fungsi bobot. Energi relativistik diperoleh dari penyelesaian persamaan energi relativistik dengan menggunakan metode numerik menggunakan software Matlab 2011. Fungsi gelombang relativistik diperoleh dari fungsi bobot dan dinyatakan dalam bentuk polynomial Romanovski, baik untuk komponen bawah dan atas dari spin Dirac.

Kata kunci: Persamaan Dirac, Potensial Poschl-Teller trigonometrik, Potensial tensor tipe Coulomb, Polinomial Romanovski, dan Pseudospin Simetri.

PENDAHULUAN

Persamaan Dirac mendeskripsikan perilaku benda-benda subatomik yang ber-spin $\frac{1}{2}$ pada elektron untuk potensial *shape invariance* sentral maupun non-sentral telah dikaji oleh beberapa peneliti dengan menggunakan metode Nikivarop Uvarop (NU) menurut Greene dan Aldrich [Arda, Cari, Greene, and Ikhdair, 2012, 2010, 1976, 2013]. Potensial fisis tersebut banyak digunakan untuk mendeskripsikan efek relativistik pada energi vibrasi-rotasi pada molekul yang berstruktur kompleks. Dengan mengasumsikan bahwa potensial skalar sama dengan potensial vektor maka persamaan Dirac tereduksi menjadi persamaan yang mirip/setipe dengan persamaan Schrodinger. Dengan demikian persamaan Dirac satu dimensi dapat dipecahkan dengan metode yang digunakan untuk memecahkan persamaan Schrodinger. Persamaan Dirac untuk beberapa potensial hanya bisa memecahkan kasus spin simetri dan pseudospin simetri. Pada paper ini energi relativistik dan fungsi gelombang untuk potensial Poschl-Teller trigonometrik plus potensial tensor tipe Coulomb secara spasial dianalisis dengan polynomial Romanovski. Polynomial Romanovski pada awalnya diusulkan oleh S.J Routh dan 45 tahun kemudian dikaji ulang oleh V.I Romanovski.

METODE POLINOMIAL ROMANOVSKI

Persamaan Dirac untuk potensial Poschl-Teller Trigonometrik plus potensial tensor tipe Coulomb.

Persamaan Schrodinger relativistik disebut sebagai persamaan Klein Gordon untuk spin bilangan bulat dan persamaan Dirac untuk spin $\frac{1}{2}$. Deskripsi secara kuantitatif gerak partikel relativistik

yang dipengaruhi oleh gaya medan yang direpresentasikan sebagai energi potensial partikel yang berspin $\frac{1}{2}$ tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial yang disebut sebagai persamaan Dirac yaitu sebagai berikut,

$$\{\vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \beta(M + V_s(r)) - i\beta\vec{\alpha} \cdot \vec{r}U(r)\}\psi(\vec{r}) = \{E - V_v(r)\}\psi(\vec{r}) \quad (1)$$

Potensial Poschl-Teller trigonometrik merupakan bentuk potensial fungsi radial. Sehingga persamaan potensial Poschl-Teller trigonometrik [Suparmi, 2011] dinyatakan dalam persamaan (2),

$$V(r) = \left(\frac{a(a-1)}{\sin^2 \pi r} + \frac{b(b-1)}{\cos^2 \pi r} \right) \quad (2)$$

Potensial tensor tipe Coulomb yang dinyatakan dengan persamaan (3).

$$U(r) = \quad (3)$$

Persamaan (2) dan (3) dimasukkan ke persamaan (1) maka didapatkan persamaan (4) yaitu:

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa+1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) - \frac{dU(r)}{dr} - U^2(r) \right] F_{n\kappa}(r) + \frac{\frac{dU(r)}{dr}}{M+E_{n\kappa}-\Delta(r)} \left(\frac{d}{dr} + \frac{\kappa}{r} - U(r) \right) F_{n\kappa}(r) = \left[(M+E_{n\kappa}-\Delta(r))(M-E_{n\kappa}+\Sigma(r)) \right] F_{n\kappa}(r), \quad (4a)$$

$$\left[\frac{d^2}{dr^2} - \frac{\kappa(\kappa-1)}{r^2} + \frac{2\kappa}{r} U(r) + \frac{dU(r)}{dr} - U^2(r) \right] G_{nk}(r) + \frac{\frac{dU(r)}{dr}}{M+E_{nk}-\Sigma(r)} \left(\frac{d}{dr} - \frac{\kappa}{r} + U(r) \right) G_{nk}(r) = [(M+E_{nk}-\Delta(r))(M-E_{nk}+\Sigma(r))] G_{nk}(r), \quad (4b)$$

Dimana $\kappa(\kappa-1) = l(l-1)$ dan $\kappa(\kappa+1) = l(l+1)$ adalah nomer kuantum yang berhubungan dengan nomer kuantum untuk spin simetri dan pseudospin simetri adalah untuk, $\kappa < 0$ syaratnya $\kappa = -(l+1) = -(j+\frac{1}{2}) \rightarrow l+\frac{1}{2}, \kappa > 0$ $\kappa = l = (j+\frac{1}{2}) \rightarrow j = l - \frac{1}{2}$ (5)

Polinomial Romanovski

Persamaan diferensial Hipergeometri yang dapat diselesaikan dengan metode Polinomial Romanovski memiliki bentuk sebagai berikut:

$$(1+s^2) \frac{\partial^2 R_n^{(p,q)}(s)}{\partial s^2} + \{2s(-p+1) + q\} \frac{\partial R_n^{(p,q)}(s)}{\partial s} - \{n(n-1) + 2n(1-p)\} R_n^{(p,q)}(s) = 0 \quad (6)$$

Dengan D adalah polinomial Romanovski. Fungsi gelombang untuk polynomial Romanoivski dinyatakan dengan

$$\chi(r) = g_n(s) = (1+s^2)^{-\frac{\alpha}{2}} e^{\frac{\alpha}{2} \tan^{-1}(s)} D_n^{(p,q)} \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelesaian persamaan Dirac potensial Manning Rosen hiperbolik dengan potensial tensor tipe Coulomb menggunakan metode polinomial Romanovski [Suparmi et al, 2013 and 2014] untuk bagian radial pada kasus spin simetri komponen atas dilakukan substitusi persamaan (2) dan (3) ke persamaan (4a), sehingga diperoleh bentuk:

$$\left\{ \frac{d^2}{dr^2} - \frac{t^2(\kappa+H+1)(\kappa+H)+\alpha(\alpha-1)(M-E_{nk}+C_{ps})}{\sin^2 \pi r} - \frac{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps})}{\cos^2 \pi r} - (M+E_{nk})(M-E_{nk}+C_{ps}) \right\} G_{nk}(r) = 0 \quad (8)$$

untuk mempermudah perhitungan secara matematis,

$$R_{ps} = (\kappa+H-1)(\kappa+H) + \alpha(\alpha-1)(M-E_{nk}+C_{ps}) \quad (9)$$

$$K_{ps} = b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps}) \quad (10)$$

$$W_{ps} = (M-E_{nk}+C_{ps})(M+E_{nk}) \quad (11)$$

Maka persamaan (6) dapat dituliskan kembali menjadi persamaan yang mirip dengan persamaan Schrodinger yaitu,

$$\left\{ \frac{d^2 G_{nk}}{dr^2} - \frac{t^4 R_{ps}}{\sin^2 \pi r} - \frac{t^4 K_{ps}}{\cos^2 \pi r} - \frac{W_{ps}}{t^2} \right\} G_{nk}(r) \quad (12)$$

Dengan mensubstitusi variabel, $\cos 2\pi r$, pada persamaan (12) dimana $-\infty < s$, kita dapatkan:

$$(1+s^2) \frac{d^2 G_{nk}(r)}{ds^2} + s \frac{dG_{nk}(r)}{ds} - \left\{ \left(-\frac{R_{ps}+K_{ps}}{2(1+s^2)} + \left(-\frac{R_{ps}-K_{ps}}{2(1+s^2)} \right) is + \left(\frac{W_{ps}}{4t^2} \right) \right\} G_{nk}(r) = 0 \quad (13)$$

Untuk memecahkan persamaan (13), kita menggunakan persamaan (6) yang merupakan fungsi gelombang baru,

$$G_{nk} = (1+s^2)^{\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \tan^{-1}(s)} D_n^{(\beta,\alpha)} \quad (14)$$

Setelah itu memanipulasikan persamaan (12) dan (13), kita dapatkan,

$$(1+s^2) \frac{\partial^2 D_n^{(-\beta+\frac{1}{2}-\alpha)(s)}}{\partial s^2} + (2\beta s - \alpha + s) \frac{\partial D_n^{(-\beta+\frac{1}{2}-\alpha)(s)}}{\partial s} - \left(\frac{2\beta^2 - 2\beta - \alpha s + 2\alpha\beta s - \frac{\alpha^2}{2} + (-R_{ps}-K_{ps})is + ((-R_{ps}+K_{ps}))}{2(1+s^2)} + \left(\frac{W_{ps}}{4t^2} - \beta^2 \right) D_n^{(-\beta+\frac{1}{2}-\alpha)(s)} \right) = 0 \quad (15)$$

Persamaan (15) dibuat menjadi persamaan diferensial orde dua polinomial Romanovski, dengan menjadikan yang berpenyebut $2(1+s^2) = 0$, sehingga berlaku:

$$\frac{(M-E_{nk}+C_{ps})(M+E_{nk})}{4t^2} - \beta^2 \quad (16)$$

Sehingga persamaan (12) sebelumnya menjadi,

$$(1+s^2) \frac{\partial^2 D_n^{(-\beta+\frac{1}{2}-\alpha)(s)}}{\partial s^2} + (2\beta s - \alpha + s) \frac{\partial D_n^{(-\beta+\frac{1}{2}-\alpha)(s)}}{\partial s} - \left(\frac{W_{ps}}{4t^2} - \beta^2 \right) D_n^{(-\beta+\frac{1}{2}-\alpha)(s)} \quad (17)$$

Dengan membandingkan parameter pada persamaan (6) dan (17), kita dapatkan hubungan sebagai berikut,

$$(2\beta+1) = 2(-p+1) \text{ dan } \alpha = -q \quad (18a)$$

$$\left(\frac{W_{ps}}{4t^2} \right) - \beta^2 = n(n-1) + n(2\beta+1) \quad (18b)$$

Dari persamaan (18) didapatkan nilai β yaitu,

$$\beta = \frac{\sqrt{\alpha(\alpha-1)(M-E_{nk}+C_{ps}) + \frac{1}{4} + (\kappa+H-1)(\kappa+H)} + \sqrt{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps}) + \frac{1}{4} + 1}}{2} \quad (19)$$

dan nilai α nya sebagai berikut,

$$\alpha = i \left(\sqrt{\alpha(\alpha-1)(M-E_{nk}+C_{ps}) + \frac{1}{4} + (\kappa+H-1)(\kappa+H)} - \sqrt{b(b-1)(M-E_{nk}+C_{ps}) + \frac{1}{4}} \right) \quad (20)$$

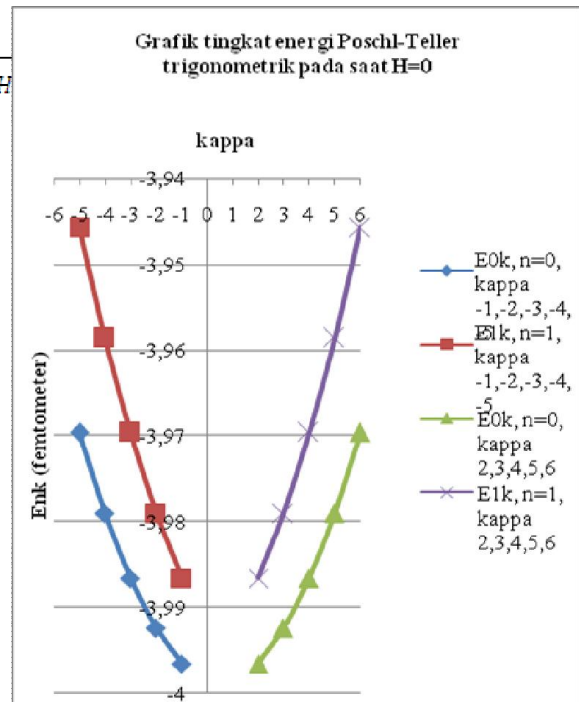
Persamaan (19) dimasukkan ke dalam persamaan (16) maka didapatkan,

$$(M - E_{nk} + C_{ps})(M + E_{nk}) = t^2 \left(\sqrt{a(a-1)(M - E_{nk} + C_{ps}) + \frac{1}{4}} + (\kappa + H - 1)(\kappa + H) \right) \sqrt{b(b-1)(M - E_{nk} + C_{ps}) + \frac{1}{4}} + 1 + 2n \quad (21)$$

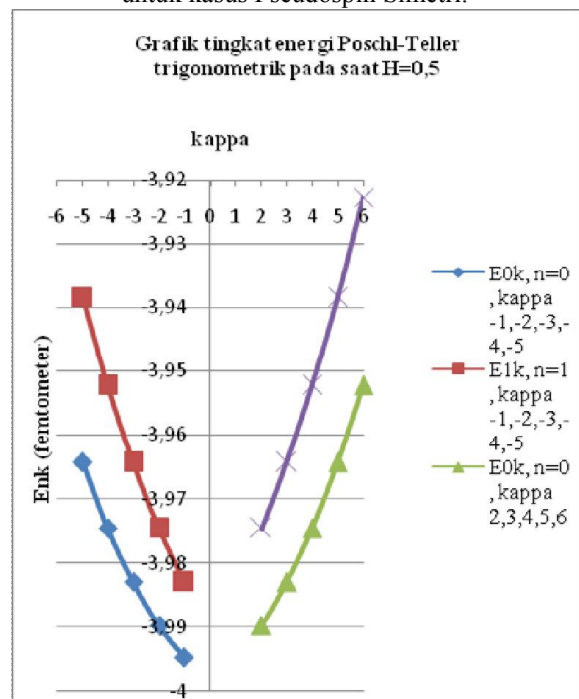
Persamaan (21) merupakan nilai energi relativistik untuk potensial Poschl-Teller trigonometrik plus potensial Tensor tipe Coulomb untuk kasus Pseudospin simetri komponen bawah pada Dirac Spinor. Hasil perhitungan energi relativistik tersebut diatas dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini,

TABEL I
Nilai Energi Relativistik pada Potensial Poschl-Teller Trigonometrik untuk Kasus Pseudospin Simetri dimana , dan

Untuk $\kappa = l + 1$			$\kappa > 0$ $j = l - \frac{1}{2}$	E_{nk} $H_0 = 0$	E_{nk} $H_1 = 0,5$
l	n	κ			
1	0	2	$0s_{1/2}$	-3,99666	-3,98976
2	0	3	$0d_{3/2}$	-3,99248	-3,98303
3	0	4	$0f_{5/2}$	-3,98661	-3,97458
4	0	5	$0g_{7/2}$	-3,97902	-3,96437
5	0	6	$0h_{9/2}$	-3,96969	-3,95237
1	1	2	$1s_{1/2}$	-3,98661	-3,97458
2	1	3	$1p_{3/2}$	-3,97902	-3,96437
3	1	4	$1d_{5/2}$	-3,96969	-3,95237
4	1	5	$1f_{7/2}$	-3,95860	-3,93854
5	1	6	$1g_{9/2}$	-3,94569	-3,92281
Untuk $\kappa = -l$			$\kappa < 0$ $j = l + \frac{1}{2}$	E_{nk} $H_0 = 0$	E_{nk} $H_1 = 0,5$
l	n	κ			
1	0	-1	$0p_{1/2}$	-3,99666	-3,99479
2	0	-2	$0d_{3/2}$	-3,99248	-3,98976
3	0	-3	$0f_{5/2}$	-3,98661	-3,98303
4	0	-4	$0g_{7/2}$	-3,97902	-3,97458
5	0	-5	$0h_{9/2}$	-3,96969	-3,96437
1	1	-1	$1p_{1/2}$	-3,98661	-3,98303
2	1	-2	$1d_{3/2}$	-3,97902	-3,97458
3	1	-3	$1f_{5/2}$	-3,96970	-3,96437
4	1	-4	$1g_{7/2}$	-3,95860	-3,95237
5	1	-5	$1h_{9/2}$	-3,94569	-3,93854



Gambar. 1 Grafik tingkat energi potensial Poschl-Teller trigonometrik variasi nilai kappa saat H=0 untuk kasus Pseudospin Simetri.



Gambar. 2 Grafik tingkat energi potensial Poschl-Teller trigonometrik variasi nilai kappa saat H=0,5 untuk kasus Pseudospin Simetri.

KESIMPULAN

Penyelesaian persamaan Dirac potensial Poschl-Teller Trigonometrik plus potensial tensor tipe Coulomb untuk kasus pseudospin simetri menggunakan polynomial Romanovski. Apabila $H=0$ maka nilai $\kappa > 0 = \kappa$ pada saat n tertentu, sedangkan pada saat $H>0$ maka nilai energi

$\kappa > 0 \neq \kappa$ ini sesuai dengan aturan (κ, κ, da) pada kasus ini terjadi proses degenerasi energi pada nukleon. Pada kasus pseudospin simetri hasilnya selalu negatif yang dihitung dengan menggunakan pemrograman Matlab 2011.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Hibah Peneliti Utama (PUT UNS) 2014 dan DIKTI No. kontrak 165a/UN27.11/PN2013.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Suparmi, C. Cari, and Deta. Exact Solution of Dirac Equation for Scarf potential with New Tensor Coupling potential for Spin and Pseudospin Symmetries Using Romanovski Polynomial. Diterima untuk dipublikasikan pada *Journal Chinese Physics B sebagai artikel No. 140287*. Akan dipublikasikan pada juli 2014 sampai halaman 12.
- A. Suparmi, C. Cari. Solution of Dirac Equation for q-Deformed Eckart potensial with Yukawa-type Tensor Interaction for Spin dan Pseudospin simetry Using Romanovski Polynomial. *Atom Indonesia Vol. 39. No. 3*. 2013 hal 112-123.
- Arda A, Server R. 2012. Non central potential, exact solution and laplace transform approach. *Ar Xiv:1202.4271v* (math-ph).
- C. Cari, A. Suparmi. 2012. Approximate Solution of Schrodinger equation for Trigonometric Scarf Potential with the Poschl-Teller Non-central Potential Using NU Method. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)* ISSN: 2278-4861, Vol. 2 Issue 3, pp. 13-23.
- C. Cari, A. Suparmi, U. A Deta. Solution of Dirac Equation for Cotangent Potential with Coulomb- type Tensor Interaction for Spin and Pseudospin Symetry Using Romanovski Polynomial. *Makara journal of Science. Vol. 17. No. 3*. 2013. Hal 93-102.
- Greene R L, and Aldrich C. 1976. *Phys. Rev. A* 142363.
- Ikhdaire S M, and Sever R 2010. *Applied Math Comput.* 216 911.
- Cari. *Mekanika Kuantum*. Cetakan pertama. Surakarta, UNS PRESS 2013.
- Suparmi. *Mekanika Kuantum II*. Cetakan pertama. Surakarta. Jurusan Fisika MIPA UNS. 2011.

KLASIFIKASI CITRA PAPSMEAR BERBASIS FITUR TEKSTUR DAN FUZZY K-NEAREST NEIGHBOR

Endah Purwanti^{1*} dan M. Arief Bustomi²

¹ Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya

² Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITS, Surabaya

*Email : end4hp@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi fitur tekstur dari citra papsmear melalui ekstraksi fitur histogram dan fitur Fast Fourier Transformation (FFT) 2 dimensi. Untuk ekstraksi fitur menggunakan FFT, citra dibagi menjadi beberapa blok tanpa tumpang tindih. Kemudian dihitung mean dari magnitudo koefisien FFT untuk masing-masing blok. Untuk ekstraksi fitur histogram, ditentukan 6 nilai yaitu mean, standar deviasi, smoothness, momen 3, skewness dan entropi. Sedangkan metode yang digunakan untuk klasifikasi citra papsmear yaitu Fuzzy K-Nearest Neighbor (FKNN). Hasil pengujian menunjukkan bahwa fitur histogram memberi hasil yang kurang baik dengan total output benar yaitu 197 data dan total output salah yaitu 70 data. Pada fitur FFT level 1 memberi hasil lebih baik dengan total output benar yaitu 231 data dan total output salah yaitu 40 data. Pada fitur FFT level 2 memberi hasil lebih baik dibandingkan fitur FFT level 1 dengan total output benar yaitu 233 data dan total output salah 38 data. Pada fitur FFT level 3 memberi hasil yang paling optimal dibandingkan dengan fitur yang lain dengan total output benar yaitu 236 data dan total output salah 35 data. Sedangkan fitur FFT level 4 menghasilkan total output benar yaitu 233 data dan total output salah yaitu 38 data. Secara umum kekuatan fitur FFT lebih baik dibandingkan fitur histogram. Tingkat akurasi FKNN tertinggi yaitu 87,08 % dan diperoleh pada fitur FFT level 3.

Kata kunci : Fast Fourier Transformation, Fuzzy K-Nearest Neighbor, histogram, papsmear.

PENDAHULUAN

Menurut World Health Organization (WHO), kanker serviks merupakan kanker nomor dua tersering dan penyebab utama kematian perempuan di seluruh dunia. Dari data Global Cervical Cancer (Globocan, 2008) terdapat 530.000 kasus baru kanker serviks dan 85 %-nya berasal dari negara-negara berkembang. Di Indonesia, kanker leher rahim atau kanker serviks merupakan jenis kanker terbanyak kedua setelah kanker payudara. Setiap harinya, diperkirakan ada 40 sampai 45 kasus baru kanker serviks dan 20 sampai 25 orang meninggal dunia (Yayasan Kanker Indonesia, 2013).

Salah satu penyebab tingginya kasus kanker leher rahim di Indonesia adalah karena minimnya kesadaran untuk melakukan deteksi dini. Deteksi dini kanker serviks dapat dilakukan dengan tes Pap Smear. Deteksi dini ini penting dilakukan sebagai pemeriksaan awal terhadap adanya sel abnormal prakanker.

Diagnosis hasil tes *pap smear* di Indonesia umumnya masih dilakukan secara konvensional oleh seorang ahli sitologi. Di Indonesia sendiri, ketersediaan tenaga ahli sitologi yang berpengalaman untuk pemeriksaan preparat *pap smear* masih terbatas jumlahnya. Selain itu, diagnosis hasil tes *pap smear* memiliki angka palsu yang cukup tinggi bahkan hampir mencapai 40 % (Ji, Q. 2000).

Beberapa penelitian telah banyak dilakukan untuk mengenali maupun mengklasifikasi secara otomatis abnormalitas sel serviks, akan tetapi hasilnya belum optimal dan masih perlu kajian lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi fitur tekstur dari citra papsmear sehingga dapat digunakan untuk memperbaiki tingkat akurasi pembacaan tes pap smear serta mengoptimalkan identifikasi abnormalitas sel serviks. Pada penelitian ini ekstraksi fitur citra sel serviks menggunakan fitur histogram dan fitur Fast Fourier Transformation (FFT) 2 dimensi. Pada

ekstraksi fitur menggunakan FFT, citra dibagi menjadi beberapa region sehingga diperoleh fitur FFT level n . Metode yang digunakan untuk identifikasi abnormalitas sel serviks yaitu Fuzzy K-Nearest Neighbor (FKNN).

METODE PENELITIAN

Materi yang digunakan pada penelitian ini merupakan data citra test *Pap-Smear* dari Herlev University Hospital yang diambil melalui link download: 'Http://www.labs.fme.aegean.gr/decision/download'. Data penelitian berupa citra berwarna sel serviks tunggal dalam bentuk digital dengan format bmp. Set data citra sel serviks telah terklasifikasi oleh ahli sitologi secara manual ke dalam 7 kelas yaitu *carcinoma in situ*, *light dysplasti*, *moderate dysplastic*, *severe dysplastic*, *normal columnar*, *normal superficiel* dan *normal intermediate*. Secara keseluruhan set data berjumlah 917 citra. Penelitian ini menggunakan parameter histogram dan magnitudo *fast fourier transformation* (FFT) 2 dimensi sebagai fitur citra sel serviks.

1. Image Enhancement

Tahap *enhancement* merupakan tahap mengubah citra grayscale sel serviks $f(x,y)$ menjadi $f'(x,y)$ sedemikian sehingga fitur-fitur yang terdapat pada citra $f(x,y)$ dapat lebih ditonjolkan. Tujuan dari ekualisasi histogram adalah untuk memperbaiki penyebaran histogram sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang relatif sama. Pada ekualisasi histogram adaptif, citra dibagi menjadi blok-blok (sub image) kemudian dilakukan ekualisasi pada tiap bloknya.

2. Ekstraksi Fitur

Fitur yang diambil pada citra sel serviks adalah fitur histogram dan fitur Fast Fourier Transformation

(FFT) 2 dimensi. Proses ekstraksi kedua fitur tersebut adalah sebagai berikut:

2.1 Ekstraksi Fitur Histogram

Tahapan ekstraksi fitur histogram citra sel serviks adalah sebagai berikut :

- Mendapatkan fitur histogram
Tiap-tiap citra hasil ekualisasi ditentukan 6 fitur histogram yaitu fitur mean, standart deviasi, varians, skewness, kurtosis dan entropi.
- Membentuk vektor fitur histogram
Vektor fitur histogram dibentuk dengan cara sebagai berikut :

$$VH = [vh1 \quad vh2 \quad vh3 \quad vh4 \quad vh5 \quad vh6]$$

dengan $vh1$ = nilai mean, $vh2$ = nilai standart deviasi, $vh3$ = nilai varians, $vh4$ = nilai skewness, $vh5$ = nilai kurtosis dan $vh6$ = nilai entropi.

2.2 Ekstraksi Fitur FFT

Tahapan ekstraksi fitur FFT citra sel serviks adalah sebagai berikut :

- Membagi citra sel serviks ke dalam region-region.
Pada proses ini citra dibagi kedalam 4^n region dengan model pembagian tidak saling tumpang tindih. Dan nilai n divariasi dari 1 sampai dengan 4 sehingga diperoleh citra level 1, citra level 2, citra level 3 dan citra level 4.
- Transformasi intensitas citra sel servik menjadi koefisien FFT.

Setiap region kemudian dihitung nilai mean dari magnitudo koefisien FFT menggunakan persamaan berikut :

$$VF_i = \frac{1}{MN} \sum \sum |F(u, v)| \quad (1)$$

dengan M, N adalah dimensi citra dan $F(u, v)$ adalah koefisien FFT sebagai berikut :

$$F_{u,v} = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f_{x,y} e^{-i2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})} \quad (2)$$

Pada tahap ini, untuk citra level 1 diperoleh 4 nilai mean dari magnitudo koefisien FFT, citra level 2 diperoleh 16 nilai, citra level 3 diperoleh 64 nilai, dan citra 4 level diperoleh 264 nilai.

- Membentuk vektor fitur FFT

Vektor fitur FFT dibentuk dengan cara sebagai berikut :

$$VF = [Vf1 \quad Vf2 \quad Vf3 \quad Vf4] \quad \text{untuk citra level 1}$$

$$VF = [Vf1 \quad Vf2 \quad Vf3 \dots Vf15 \quad Vf16] \quad \text{untuk citra level 2 dan seterusnya.}$$

3. Outlier Removal Clustering (ORC)

Tahap selanjutnya adalah melakukan deteksi terhadap data-data yang mungkin karakteristiknya secara signifikan menyimpang/berbeda dengan karakteristik data pada umumnya. Metode yang digunakan yaitu *Outlier Removal Clustering (ORC)* dengan algoritma sebagai berikut:

- Lakukan pengelompokan set data dengan K kelompok
- Hitung d_{max} dari jarak yang paling jauh dari kelompok yang diikuti dengan persamaan 3.6
- Untuk data dari 1 sampai N (jumlah data), lakukan langkah 4 sampai 5
- Hitung faktor *outlyingness* (o)
- Jika nilai o lebih besar dari T , tandai data tersebut sebagai *outlier*

4. Pengujian dan Identifikasi

Untuk menguji kekuatan fitur histogram dan FFT digunakan metode clustering FKNN dengan algoritma sebagai berikut:

- Normalisasi data menggunakan nilai terbesar dan terkecil data pada setiap fitur
- Cari K tetangga terdekat untuk data uji x menggunakan persamaan 4.65
- Hitung nilai keanggotaan $u(x, c_i)$ menggunakan persamaan 3.5 untuk setiap i , dimana $1 < i < c$
- Ambil nilai terbesar $c = u(x, c_i)$ untuk semua $1 < i < c$
- Berikan label kelas c ke data uji x

Melalui output program kemudian diidentifikasi sel serviks abnormal dan normal serta ditentukan tingkat akurasi serta laju error FKNN untuk mengukur kinerja metode klasifikasi. Untuk menentukan akurasi digunakan formulasi sebagai berikut:

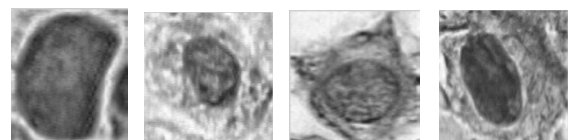
$$Akurasi = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi benar}}{\text{jumlah prediksi yang dilakukan}}$$

Sedangkan untuk menghitung laju error (kesalahan prediksi) digunakan formulasi sebagai berikut :

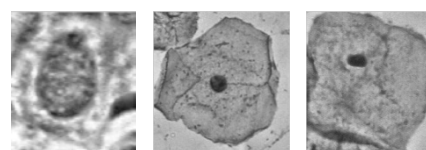
$$Laju Error = \frac{\text{Jumlah data yang diprediksi salah}}{\text{Jumlah prediksi yang dilakukan}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbaikan kualitas citra menggunakan ekualisasi histogram adaptif bertujuan untuk meningkatkan kontras citra melalui perataan histogram secara lokal.



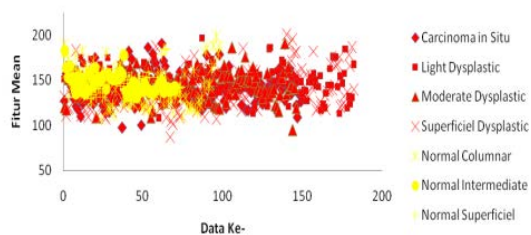
(a) Sampel Citra Sel Abnormal



(b) Sampel Citra Sel Normal

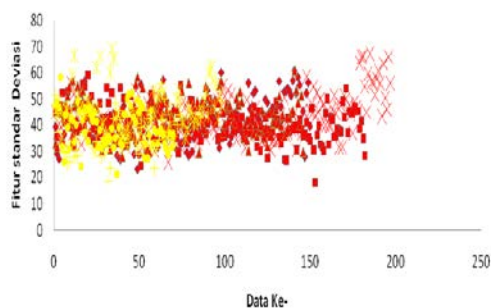
Gambar 2. Hasil Ekualisasi Histogram

Fitur histogram memberi informasi tekstur sebuah citra. Ciri tekstur sel serviks menentukan sifat permukaan sel (nukleus dan sitoplasma) secara keseluruhan. Fitur ini mampu membedakan kasar/halus permukaan objek dalam citra sel serviks. Beberapa fitur histogram yang digunakan yaitu mean, standart deviasi, smoothness, momen dan entropi.



Gambar 3. Plot Fitur Mean

Fitur mean menyatakan sebaran intensitas sebuah citra. Pada grafik fitur mean sel serviks Gb.3 tampak range nilai mean sel normal berada pada range nilai mean sel abnormal. Range nilai mean sel abnormal yaitu berkisar dari 87 sampai 200 sedangkan sel normal berkisar dari 107 sampai 198. Nilai mean sel serviks abnormal memiliki range yang cukup lebar dibandingkan dengan nilai mean sel serviks normal.

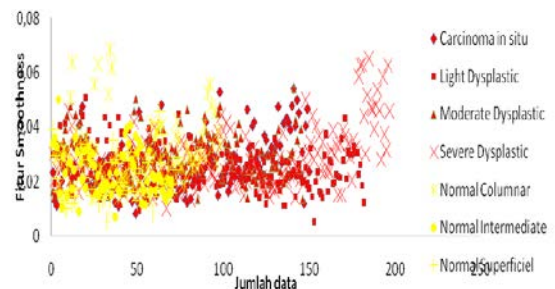


Gambar 4. Plot Fitur Standar Deviasi

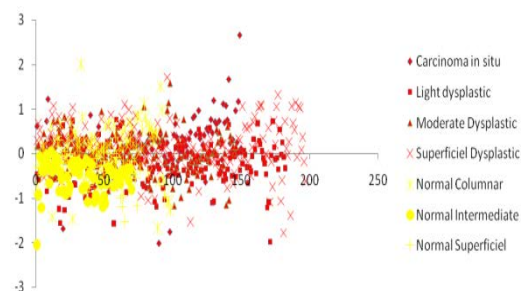
Nilai standar deviasi memberi informasi tentang kontras citra yaitu sebaran terang (*lightness*) dan gelap (*darkness*) citra sel servik. Pada gambar 4 tampak range nilai standar deviasi sel abnormal berkisar dari 18 sampai 67 dan sel normal berkisar dari 18 sampai 69. Tidak ada perbedaan signifikan pada range nilai standar deviasi antara sel abnormal dan sel normal. Tampak pula bahwa citra sel normal columnar memiliki kontras cukup tinggi dibandingkan sel normal jenis lain. Dan sebaran nilai kontras citra *normal columnar* memiliki kemiripan dengan nilai kontras citra abnormal *severe dysplastic*.

Nilai *smoothness* menggambarkan kelembutan/kekasaran permukaan objek (nukleus/sitoplasma) dalam citra sel serviks. Pada gambar 5 terlihat range nilai *smoothness* sel abnormal berkisar dari 0,005 sampai 0,065 sedangkan sel normal berkisar dari 0,005 sampai 0,068. Range nilai *smoothness* sel abnormal maupun sel normal hampir sama. Nilai *smoothnes* sel abnormal *severe dysplastic* dan sel normal *columnar* cukup tinggi. Hal ini

menunjukkan bahwa nilai intensitas kedua sel tersebut cukup konstan. Secara visual tampak terdapat kemiripan intensitas yang konstan antara background, sitoplasma maupun nukleus.

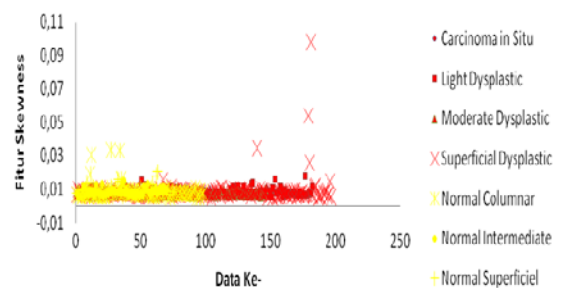


Gambar 5. Plot Fitur Smoothness



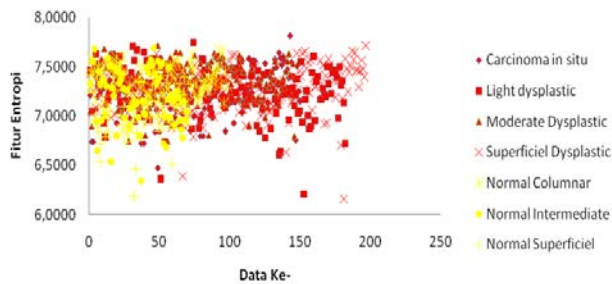
Gambar 6. Plot Fitur Momen

Range nilai momen sel abnormal berkisar dari -2,01 sampai 2,66 sedangkan sel normal berkisar dari -2,05 sampai 1,99. Tampak bahwa range nilai momen sel abnormal lebih lebar dibandingkan range nilai momen sel normal. Dari Gambar 6, tampak pula bahwa nilai momen sel normal pada umumnya lebih rendah dibandingkan sel abnormal. Dan pada grafik tersebut tampak nilai momen pada beberapa data sel normal columnar cukup tinggi.



Gambar 7. Plot Fitur Skewness

Nilai *skewness* menyatakan ukuran kecondongan histogram citra (Gb. 7). Range nilai *skewness* sel abnormal berkisar dari 0,004 sampai 0,098 sedangkan sel normal berkisar dari 0,005 sampai 0,033. Range nilai *skewness* sel abnormal cukup lebar dibandingkan dengan range nilai *skewness* sel normal. Nilai *skewness* yang cukup tinggi pada sel abnormal yaitu *superficial dysplastic* sedangkan pada sel normal yaitu *normal columnar*.



Gambar 8. Plot Fitur Entropi

Nilai entropi memberi informasi keteracakan/keseragaman intensitas citra sel servik. Pada gambar 8. tampak range nilai entropi sel abnormal berkisar dari 6,16 sampai 7,81 sedangkan sel normal berkisar dari 6,18 sampai 7,69. Terlihat nilai entropi tidak ada perbedaan yang signifikan antara sel abnormal dan sel normal. Hal ini berarti intensitas citra sel abnormal dan sel normal cenderung seragam.

Fitur FFT diperoleh dengan menentukan mean dari magnitudo koefisien FFT 2 dimensi pada setiap region citra sel serviks hasil ekualisasi histogram. Ekstraksi fitur FFT dilakukan terhadap seluruh set data yaitu 917 citra yang terdiri dari 675 data sel abnormal dan 242 data sel normal.

Hasil deteksi *outlier*, menunjukkan data *outlier* pada fitur histogram didominasi oleh citra sel abnormal yaitu sebanyak 16 data. Sedangkan data *outlier* pada fitur FFT didominasi oleh citra sel serviks *normal superficial*. Hal ini karena terdapat beberapa data citra sel *normal superficial* yang memiliki lebih dari satu sel.

Pengujian dilakukan pada set data sel serviks hasil ORC pada setiap fitur yaitu fitur histogram, fitur FFT level 1, fitur FFT level 2, fitur FFT level 3 dan fitur FFT level 4. Data uji yang digunakan untuk fitur histogram yaitu 267 data. Sedangkan data uji untuk fitur FFT yaitu 271 data.

Dari hasil pengujian terhadap fitur histogram, FFT level 1, FFT level 2, FFT level 3 dan FFT level 4, menunjukkan bahwa fitur histogram memberi hasil yang kurang baik dengan total output benar yaitu 197 data dan total output salah yaitu 70 data. Pada fitur FFT level 1 memberi hasil lebih baik dengan total output benar yaitu 231 data dan total output salah yaitu 40 data. Pada fitur FFT level 2 memberi hasil lebih baik dibandingkan fitur FFT level 1 dengan total output benar yaitu 233 data dan total output salah 38 data. Pada fitur FFT level 3 memberi hasil yang paling baik dibandingkan dengan fitur yang lain dengan total output benar yaitu 236 data dan total output salah 35 data. Sedangkan fitur FFT level 4 menghasilkan total output benar yaitu 233 data dan total output salah yaitu 38 data.

Unjuk kerja FKNN untuk setiap fitur dinyatakan dalam tabel akurasi dan laju error pada Tabel 1. Tampak bahwa secara umum fitur FFT lebih baik dibandingkan fitur histogram untuk mendukung FKNN dalam mengklasifikasi citra papsmear. Tingkat akurasi FKNN tertinggi diperoleh pada fitur FFT level 3.

Tabel 1. Unjuk Kerja FK-NN pada Setiap Fitur

Jenis Fitur	Akurasi(%)	Laju Error
Histogram	73,78	0,2622
FFT Level 1	85,24	0,1476
FFT Level 2	85,98	0,1402
FFT Level 3	87,08	0,1292;
FFT Level 4	85,98	0,1402

KESIMPULAN

1. Fitur histogram yaitu mean, *standart deviasi*, momen dan *smoothness* mendukung kinerja FKNN dengan tingkat akurasi sebesar 73,78 % dengan laju error 0,2622.
2. Fitur FFT level 3 mampu memberikan hasil yang optimal pada kinerja FKNN.
3. Tingkat akurasi tertinggi algoritma FKNN sebesar 87,08 % dengan laju error 0,1292.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, Silvia, 2008, Analysis of Pap Smear Image Using Computer Software, Fakultas Life Science, Program Studi Biomedical Engineering, Swiss Germany University (SGU).
- Ahmad, Usman, 2005, Pengolahan Citra Digital & Teknik Pemrogramannya, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- American Cancer Society, 2007, Detailed Guide: Cervical Cancer, <http://www.cancer.org/docroot/CRI/content.html>, 20 Mei 2012.
- Centers for Disease Control and Prevention, 2006, Genital HPV Infection – CDC Fact Sheet, <http://www.cdc.gov/STD/HPV/STDFact-HPV.html>, 20 Mei 2012.
- Gonzalez, R.C., Woods, Richard E., 2002, Digital Image Processing, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- Hoda, Rana S., Hoda, Syed. A., 2007, Fundamental of Pap Test Cytology, Humana Press, Totowa, New Jersey.
- Jan, J., 2006, Medical Image Processing, Reconstruction, and Restoration: Concepts and Methods, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Jordan, Joseph A., Singer, A., 2006, The Cervix, Blackwell Publishing, Inc., United States.
- Karp, Gerald C., 2005, Cell and Molecular Biology: Concepts and Experiments, 4th ed, John Wiley and Sons, Asia.
- Kumar, V., Abbas, A.K., Fausto, N., Mitchell, R.N., 2007, Robbins Basic Pathology, Saunders Elsevier.
- Kusumadewi, Sri, 2004, Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan EXCEL LINK, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Mahanta, L.B., Nath D.C., Nath C.K., 2012, Cervix Cancer Diagnosis from Pap Smear Images Using Structure Based Segmentation and Shape Analysis,

- Markovic, Nenad., Markovic, Olivera., 2008, What Every Woman Should Know about Cervical Cancer, Springer, United States.
- Meutia, Syarifah Dina, 2009, Segmentasi Citra Sel Serviks Menggunakan Algoritma Multifraktal dengan Adaptive Multiple Thresholding dan Klasifikasi Menggunakan Learning Vector Quantization, Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Indonesia.
- Munir, Rinaldi, 2006, Aplikasi Image Thresholding Untuk Segmentasi Objek, Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung.
- Munoz, N., Bosch, F.X., de Sanjose, S., 2003, Epidemiologic Classification of Human Papillomavirus Types Associated with Cervical Cancer, **N Engl: J Med**.
- National Cancer Institute, 2007, The Pap Test, <http://www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/detection/Pap-test#13>, 18 Mei 2012.
- Norup, Jonas, 2005, Classification of Pap Smear Data by Transductive Neuro-Fuzzy Methods, University of Denmark.
- Putra, Darma, 2009, Pengolahan Citra Digital, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Siang, Jong Jek, 2009, Jaringan Saraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan MATLAB, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Solomon, C., Breckon, T., 2011, Fundamental of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in Matlab, John Willey & Sons, Ltd, United Kingdom
- Spencer, Juliet V., 2007, Deadly Disease and Epidemics: Cervical Cancer, Infobase Publishing, New York.
- Suprpto, 2010, Penggunaan Pengolahan Citra Digital pada Pemeriksaan Pap Smear dalam Pendeteksian Kanker Serviks, **Jurnal TIF**, Vol. 1 No. 2, Desember 2010.
- Suryatenggara, Jeremiah, 2009, Cervix Cancer Detection Based On Pattern Recognition In Cervical Cytological Slide Images, Fakultas Life Science, Program Studi Biomedical Engineering, Swiss Germany University (SGU).
- Suwiyoga, I Ketut, 2004, Beberapa Masalah Pap Smear sebagai Alat Diagnosis Dini Karakter Serviks di Indonesia, Lab. Obstetri dan Ginekologi Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Denpasar.

ESTIMASI MODEL SATU DIMENSI KECEPATAN GELOMBANG P DAN S DI JAWA TENGAH DAN TIMUR

Supardiyono^{1*} dan Dzulkifli¹

¹Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Surabaya

*Email: idayono@yahoo.com

ABSTRAK

Untuk mengetahui lokasi sumber gempa bumi yaitu bujur, lintang dan kedalaman sangat diperlukan model kecepatan penalaran gelombang seismik diantaranya gelombang P dan S. Kecepatan penalaran gelombang seismik dipengaruhi oleh medium yang dilaluinya. Setiap daerah memiliki karakteristik medium yang berbeda-beda, sehingga model kecepatan gelombang seismiknya pun juga berbeda. Oleh karena itu perlu dicari model kecepatan gelombang P dan S untuk setiap daerah. Model kecepatan gelombang seismik yang digunakan oleh lembaga seismologi kebanyakan adalah model global bukan lokal daerah tertentu. Tujuan penelitian ini adalah menentukan model 1D kecepatan gelombang P dan S di daerah Jawa Tengah dan Timur dengan menggunakan algoritma genetika yang tertuang dalam program hypoGA. Model kecepatan 1D ini sebagai model kecepatan awal untuk menentukan model kecepatan yang lebih baik atau model kecepatan 3D. Selama ini untuk menentukan model kecepatan awal digunakan metode coba-coba atau menggunakan model kecepatan global. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah *arrival time* gelombang P dan S dari event gempa yang terjadi di daerah Jawa Tengah dan Timur sebanyak 45 event gempa. Hasil penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut. Lapisan bumi yang digunakan ada 3 lapisan, yaitu kerak atas, kerak bawah dan mantel. Untuk Jawa tengah ketebalan kerak atas diperoleh sebesar 20 km dengan V_p 5,8 km/s. Ketebalan kerak bawah sebesar 18 km dengan V_p 6,9 km/s dan kecepatan gelombang P (V_p) dalam mantel sebesar 8,1 km/s, serta V_p/V_s sama dengan 1,72. Untuk Jawa Timur diperoleh V_p masing-masing 5,9 km/s; 6,7 km/s; dan 8,0 km/s dengan ketebalan kerak atas 18 km dan kerak bawah 17 km serta V_p/V_s sama dengan 1,74.

Kata-kata kunci: model kecepatan, algoritma genetika, gelombang seismik. Jawa Tengah dan Timur.

PENDAHULUAN

Studi tentang model kecepatan gelombang seismik sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan bumi. Selain itu juga diperlukan untuk menentukan hiposenter gempa bumi. Banyak penelitian tentang model kecepatan gelombang P dan S yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu, baik model kecepatan yang bersifat global maupun lokal. Model kecepatan global yang dihasilkan para peneliti sudah sangat baik, tetapi untuk model kecepatan lokal masih sangat diperlukan penelitian-penelitian yang lebih seksama, khususnya di Indonesia terutama di Jawa. Hal ini disebabkan oleh karakteristik lapisan bumi tiap daerah yang tidak sama.

Penentuan hiposenter gempa bumi berkaitan dengan masalah non-linier dan dapat diselesaikan secara lokal dengan metode linierisasi atau dengan pencarian acak. Metode linierisasi telah digunakan untuk menentukan hiposenter dengan meminimalkan perbedaan waktu tempuh gelombang P dan S hasil pengamatan dengan hasil kalkulasi (Lee, 1975). Penggunaan pendekatan linierisasi pada masalah non-linier dalam tomografi seismik 3D dengan gempa bumi lokal bergantung pada model kecepatan awal (Kissling, 1984). Model kecepatan awal yang digunakan adalah model kecepatan 1D yang biasanya dihasilkan dari data sintetis (Kissling, 1994). Meskipun model kecepatan 1D hanya memberikan sedikit informasi untuk studi tektonik, tetapi peranannya sangat penting untuk pendekatan awal dalam studi seismik lokal dan regional (Reasenber, 1983, Groot-Hedlin, 1998). Salah satu program yang sering digunakan dalam mengestimasi model kerak 1D yang secara simultan dapat menentukan hiposenter adalah VELEST (Kissling, 1994), yang menggunakan metode *ray tracing* dalam struktur berlapis (Thurber, 1981). VELEST menggunakan

pendekatan linierisasi iteratif, mirip dengan yang diadopsi oleh Lee dan Lahr dalam penentuan hiposenter. Umumnya, metode ini kurang stabil untuk penentuan model 1D, jika dibandingkan hanya untuk penentuan hiposenter saja, terutama karena peningkatan ukuran ruang pencarian dan jumlah minimum lokal. Dengan demikian,

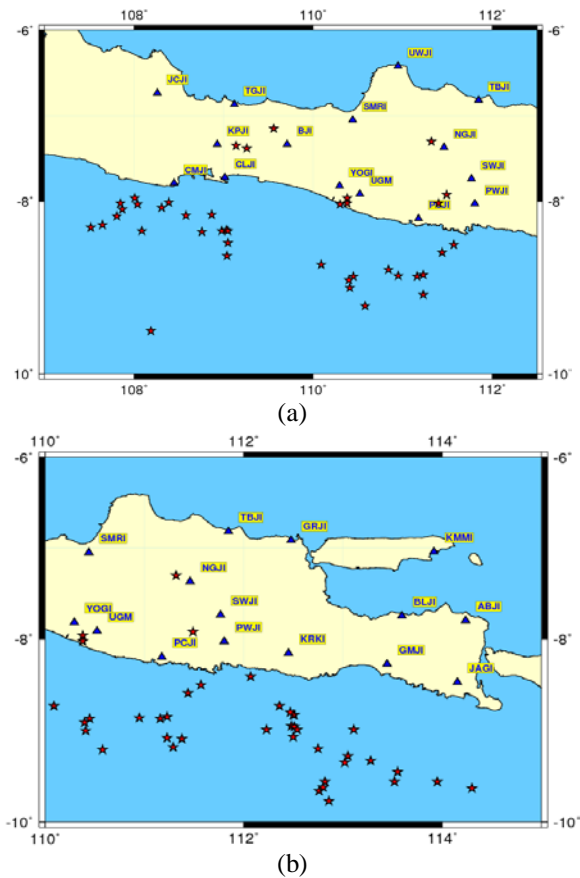
VELEST menuntut data travel time gelombang P dan S yang besar serta informasi awal tentang struktur kerak ditentukan dengan metode independen. Untuk menentukan model kecepatan awal biasanya digunakan metode coba-coba dengan merujuk pada informasi yang ada. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan metode pencarian acak untuk menentukan estimasi awal model kecepatan 1D. Pencarian acak yang digunakan adalah sesuai dengan algoritma genetika. Penentuan model kecepatan 1D dari kerak bumi dengan algoritma genetika adalah mencari solusi terbaik untuk model sederhana yang terdiri dari dua lapisan kerak yaitu kerak atas dan kerak bawah serta satu lapisan mantel atas (gambar 2).

DATA DAN METODE

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data katalog lembaga seismologi Geofon dan BMKG, serta data gelombang seismiknya dari lembaga yang sama. Data seismik berasal dari even gempa bumi yang berada di daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur pada rentang lintang dan bujur yaitu untuk Jawa Tengah 60LS – 90LS dan 1080BT – 1120BT, sedangkan untuk Jawa Timur 60LS – 100LS dan 1100BT – 1150BT. Data katalog yang digunakan adalah stasiun seismometer, hiposenter dan magnitudo gempa. Sedangkan data seismik digunakan untuk memperoleh waktu kedatangan gelombang P dan S. Untuk mengetahui waktu kedatangan gelombang P dan S

dengan cara picking menggunakan software Winquake. Even gempa yang digunakan untuk di Jawa tengah sebanyak 44 dan Jatim 34 gempa yang terjadi antara tahun 2008 sampai 2012. Sedangkan stasiun seismik yang dipakai sebanyak 15 untuk Jateng dan Jatim juga 15 stasiun, seperti tampak pada gambar 1.



Gambar 1. Even gempa bumi dan stasiun (a) di Jawa Tengah (b) di Jawa Timur

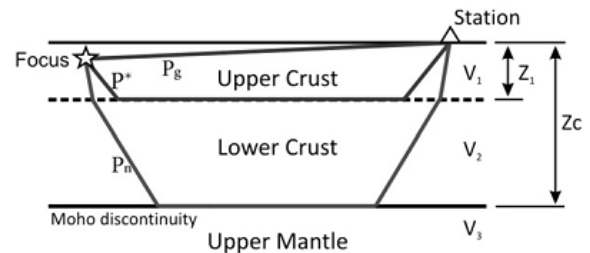
Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah metode stokastik untuk mencari solusi yang optimal, berdasarkan hukum evolusi alami Darwin, dan telah banyak digunakan dalam geofisika untuk masalah non-linear (Gallagher et al., 1991), termasuk inversi kurva dispersi gelombang permukaan (Yamanaka dan Ishida, 1996), lokasi hiposenter (Sambridge dan Gallagher, 1993), fokus penentuan mekanisme (Kobayashi dan Nakanishi, 1994), dan stres tensor inversi dengan data mekanisme fokal (Loohuis dan Eck, 1996). Untuk menentukan estimasi awal model kecepatan 1D dengan menggunakan algoritma genetika telah dilakukan oleh Lopes dan Assumpcao (2011) dalam program hypoGA yang merupakan pengembangan dari program hypo71. Selain dapat menentukan model 1D program hypoGA juga dapat digunakan untuk menentukan hiposenter yang merupakan program asli hypo71 (Lee, 1975).

Langkah-langkah dalam pemrosesan data dengan program hypoGA adalah sebagai berikut. Langkah pertama menyiapkan data *arrival time* gelombang P dan S setiap even yang direkam beberapa stasiun dan disimpan dalam file *hypo.dat* serta menyiapkan data episenter stasiun yang disimpan dalam

file *stasion.crd*, kedua data tersebut merupakan data utama. Langkah kedua adalah menjalankan program hypoGA dengan sistem operasi Linux.

Algoritma genetika terdiri dari beberapa populasi yang terinspirasi dari ilmu biologi yaitu reproduksi, seleksi dan mutasi yang kemudian menghasilkan generasi baru yang lebih baik yang sesuai dengan populasi awalnya. Dalam penelitian ini dimodelkan dengan 100 individu untuk generasi awalnya dan disetiap generasi ada 50 model. Dalam operasi perkawinan probabilitas dipilih 90%, sedangkan tingkat mutasi dipilih 10%. Ruang pencarian seperti tabel 1.



Gambar 2. Model struktur kerak yang digunakan untuk menentukan hiposenter gempa bumi lokal

Tabel 1. Parameter pencarian yang digunakan dalam model struktur kecepatan kerak (kecepatan dalam km/s dan ketebalan dalam km)

Parameter	Rentang	Step
Vp kerak atas (V_1)	5,75 - 6,50	0,05
Vp kerak bawah (V_2)	6,55 - 7,48	0,03
Vp mantel atas (V_3)	7,88 - 8,50	0,02
Tebal kerak atas (Z_1)	9,50 - 25,0	0,50
Ketebalan kerak (Z_c)	28,3 - 50,0	0,70
Vp/Vs	1,65 - 1,80	0,01

Pemrosesan dilakukan berulang sebanyak 50 kali dan kemudian dicari nilai rata-ratanya.

HASIL DAN DISKUSI

Model kecepatan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil model struktur kecepatan kerak (kecepatan dalam km/s dan ketebalan dalam km) untuk Jawa Tengah.

Parameter	Nilai Rata-rata
Vp kerak atas (V_1)	5,80
Vp kerak bawah (V_2)	6,90
Vp mantel atas (V_3)	8,10
Tebal kerak atas (Z_1)	20
Ketebalan kerak (Z_c)	38
Vp/Vs	1,72

Tabel 3. Hasil model struktur kecepatan kerak (kecepatan dalam km/s dan ketebalan dalam km) untuk Jawa Timur.

Parameter	Nilai Rata-rata
Vp kerak atas (V_1)	5,90
Vp kerak bawah (V_2)	6,70
Vp mantel atas (V_3)	8,00
Tebal kerak atas (Z_1)	18
Ketebalan kerak (Z_c)	35
Vp/Vs	1,74

Berdasarkan tabel 2 untuk daerah Jawa Tengah tampak bahwa kecepatan gelombang P pada lapisan kerak atas rata-rata sebesar 5,8 km/s dengan ketebalan 20 km. Di bawah kerak atas terdapat lapisan Conrad yang merupakan pembatas dengan kerak bawah, hal ini ditunjukkan dengan diskontinuitas kecepatan yaitu memiliki perubahan kecepatan yang cukup signifikan. Kecepatan gelombang P di kerak bawah sebesar 6,9 km/s dengan ketebalan lapisan kerak bawah sebesar 18 km. Total ketebalan kerak adalah 38 km yang ditunjukkan dengan diskontinuitas pada lapisan Moho. Lapisan Moho merupakan pembatas antara kerak dengan mantel. Kecepatan gelombang P di lapisan mantel atas sebesar 8,1 km/s. Untuk kecepatan gelombang S dapat ditentukan dengan perbandingan V_p dengan V_s yaitu sebesar 1,72. Dengan demikian V_s kerak atas adalah 3,37 km/s, V_s kerak bawah sebesar 4,01 km/s, dan V_s mantel atas sebesar 4,71 km/s.

Model kecepatan gelombang P untuk daerah Jawa Timur tampak terlihat pada tabel 3. Seperti halnya daerah Jawa Tengah, kecepatan gelombang P untuk daerah Jawa Timur tidak terlalu jauh berbeda, hal ini menunjukkan bahwa struktur kerak dan mantel di kedua daerah tersebut memiliki kemiripan. Hal ini dikuatkan bahwa secara geologis kedua daerah tersebut adalah sama.

KESIMPULAN

Model struktur kecepatan kerak 1D adalah sangat berguna untuk mempelajari tektonik bumi lebih lanjut. Keuntungan dari penggunaan algoritma genetika untuk menentukan model kecepatan 1D adalah tidak diperlukan model awal yang mana selama ini selalu menjadi kendala. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan kerak rata-rata adalah 38 km untuk Jateng dan 35 km untuk daerah Jatim.

DAFTAR PUSTAKA

Gallagher, K., Sambridge, M., Drijkoningen, G., 1991. "Genetic algorithms: an evolution from Monte Carlo methods for strongly non-linear geophysical optimization problems". *Geophysical Research Letters*. Vol 18 (12), 2177–2180

Kissling, E., Ellsworth, W.L., Cockerham, R., 1984. "Three-dimensional structure of the Long Valley Caldera, California region by geotomography". *USGS Open File Report*, 84–939.

Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhard-Phillips, D., Kradolfer, U., 1994. Initial reference models in local earthquake tomography. *Journal of Geophysical Research*, Vol 99, 19635–19646.

Kobayashi, R., Nakanishi, I., 1994. Application of genetic algorithms to focal mechanism determination. *Geophysical Research Letters*, Vol 21, 729–732

Lee, W.H.K., Lahr, J.C., 1975. "HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes". *USGS Open File Report*, 75–311.

Loehuis, J., Eck, T., 1996. "Simultaneous focal mechanism and stress tensor inversion using a genetic algorithm". *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol 21 (4), 267–27.

Lopes, A.E.V., and Assumpcao, M., 2011. "Genetic algorithm inversion of the average 1D crustal structure using local and regional earthquakes". *Computers & Geosciences*, Vol 37 (2011) 1372–1380.

Reasenber, P., Ellsworth, W.L., 1982. "Aftershocks of the Coyote Lake, California, earthquake of August 6, 1979: a detailed study". *Journal of Geophysical Research*. Vol 87, 10637–10655.

Sambridge, M., Gallagher, K., 1993. "Earthquake hypocenter location using genetic Algorithms". *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol 83 (5), 1467–149.

Thurber, C.H., 1981. "Earth structure and earthquake locations in Coyote Lake area, central California". Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.

Yamanaka, H., Ishida, H., 1996. "Application of genetic algorithms to an inversion of surface wave dispersion data". *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol 86 (2), 436–444.

